

TERRAS-RARAS NO BRASIL

DEPÓSITOS, RECURSOS IDENTIFICADOS, RESERVAS

Francisco E. de V. Lapido Loureiro

MCT

CNPq

CETEM

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Itamar Franco
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: José Israel Vargas

PRESIDENTE DO CNPq: Lindolpho de Carvalho Dias
DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO: José Ubirajara Alves
DIRETOR DE PROGRAMAS: Eduardo Moreira da Costa
DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA: Luiz Bevilacqua

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)

Presidente: Roberto C. Villas Bôas

Vice-presidente: Antônio Gonçalves Dias

Membros Internos: Juliano Peres Barbosa; Luiz Gonzaga Sobral; Ronaldo Luiz Correa dos Santos e Fernando Freitas Lins (suplente)

Membros Externos: Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Octávio Elísio Alves de Brito; Saul Barisnik Suslick e Luiz Alberto C. Teixeira (suplente)

DIRETOR: Roberto C. Villas Bôas

DIRETOR ADJUNTO: Antônio Gonçalves Dias

DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM): Adão Benvindo da Luz

DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME): Juliano Peres Barbosa

DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI): Roberto Rodrigues Coelho

DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES): Celso de O. Santos

DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD): Denyr Pereira da Silva



ISSN - 0103-6319

Francisco de E. V. Lápido Loureiro

Geólogo (Univ. de Lisboa), Eng. Geólogo (ENSG de Nancy - França). Especializações no Miner. Inst. de Freiburg; ITC, de Delft e Labor. de Microsonda - SGME, de Madrid. Atuou em prospecção e pesquisa mineral, durante trinta e dois anos em Portugal, Angola e no Brasil. Foi Professor da Univ. de Luanda durante 8 anos e é pesquisador titular do CNPq/CETEM desde 1991.

Tombos: 006218

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

1994

*SEDE
CE
EY 2*

CT-006109-P

CETEM
BIBLIOTECA

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

CONSELHO EDITORIAL

Editor

Ronaldo Lutz C. dos Santos

Conselheiros Internos

Maria Laura T. M. G. C. Barrêto, Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, Francisco E. de Vries Lapido Loureiro, Francisco R. C. Fernandes,

Conselheiros Externos

Luís Henrique Sanchez (USP), José Raimundo A. Ramos (UFRJ), Eduardo C. Damasceno (USP), Saul Barisnik Suslick (UNICAMP), Abraham Benzaquem Siczu (Fundação Joaquim Nabuco), Helena Maria Lastres (IBICT), Hildebrando Hermann (UNICAMP), Rupen Adamian (COPPE/UFRJ)

Reg. N.º 1749 Data 21/06/95

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e da gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

Dayse Lúcia M. Lima COORDENAÇÃO EDITORIAL E REVISÃO

Vera Lúcia Ribeiro EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Jacinto Frangella ILUSTRAÇÃO

Lapido Loureiro, Francisco E. de V.

Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas. - Rio de Janeiro: CETEM, 1994.

189p.: il. - (Série Estudos e Documentos, 21) ..

1. Terras-raras. I - Centro de Tecnologia Mineral. II - Título. III - Série.

ISBN 85-7227-049-3

ISSN 0103-6319

CDD. 553.494

APRESENTAÇÃO

Esta monografia, ora trazida à luz pela *Série Estudos e Documentos*, de autoria do Pesquisador Titular Francisco Eduardo de V. Lapido Loureiro, do CETEM, coroa, de maneira exemplar, as metas iniciais que foram consagradas à "Câmara Setorial das Terras-Raras", em funcionamento desde de 1992.

Complementando a série de atividades em terras-raras, a que tanto o CETEM quanto a "Câmara Setorial" se devotaram, este volume sobre os depósitos, recursos identificados e reservas no Brasil mostra, com clareza inequívoca, todo o cabedal de conhecimentos do profissional, militante geólogo, ao largo de sua vivência e trato nas lidas de geologia brasileira e, em especial, aquela das terras-raras.

É, pois, com muita satisfação que indico aos leitores interessados a leitura deste livro.

Roberto C. Villas Bôas
Diretor do CETEM

CETEM	
BIBLIOTECA	
ITB -	6158
COL. DE	VOL. VOL N.º
DATA	21/06/95
REG. N.º	
BMB	

SUMÁRIO

1. PREÂMBULO	3
2. ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS SOBRE METALOGENIA DAS TERRAS-RARAS	10
2.1 Geoquímica e Cristalquímica.....	11
2.2 Mineralogia	14
2.3 Tipos de Depósitos.....	23
2.4 Tópicos de Gitologia Quantitativa.....	31
2.5 Metodologia Prospectiva	31
3. JAZIDAS, DEPÓSITOS E PROSPECTOS DE TERRAS- RARAS NO BRASIL.....	39
3.1 "Placers" Marinhos	40
3.2 "Placers" Fluviais e Depósitos Colúvio-Eluvionares.....	46
3.3 Carbonatitos/Enriquecimento Residual	51
3.4 Hidrotermais Plutogênicos/Enriquecimento Residual	85
3.5 Pegmatíticos	95
3.6 Sedimentares	98
3.7 Ocorrências Mal Definidas	99
4. CONCLUSÕES/SUGESTÕES.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	115
ANEXOS	129

1. PREÂMBULO

Com o crescimento da demanda dos metais e óxidos de grande pureza, de elementos ditos de alta tecnologia, vem aumentando o interesse pelas terras-raras.

A primeira aplicação das terras-raras surgiu em 1883, com o desenvolvimento da iluminação a gás. Utilizava os seus óxidos e os de zircônio nas camisas dos lampiões. Hoje, as terras-raras são aplicadas em numerosos produtos industriais de alta tecnologia, como agentes catalíticos, na metalurgia, na eletrônica etc., e até na própria agricultura, como nutrientes, domínio em que começa a abrir-se um vastíssimo e promissor campo. Pesquisas desenvolvidas na China, utilizando o produto comercial "Changle", à base de nitratos de terras-raras, em 3 milhões de hectares de campos cultivados, revelaram uma razão custo/benefício de 1:7 a 1:20. (Rare Earth Development Center for Agricultural Technique, 1991) Por outro lado, na Austrália, foram efetuados estudos, com resultados já divulgados, que mostraram a viabilidade da sua utilização como inibidores de corrosão em ligas de alumínio e zinco e em "aços doces", substituindo os cromatos, altamente tóxicos e cancerígenos. (Baldwin et al, 1987; Hinton, 1992; Hinton et al 1988)

Embora no Brasil toda a produção de terras-raras seja oriunda de depósitos aluvionares marinhos, as maiores reservas e os mais altos teores detectados situam-se em solos ferralíticos ou crostas de alteração, com enriquecimento residual, constituindo concentrações específicas ou associando-se a outros bens minerais, nomeadamente a minérios de apatita, anatásio, pirocloro, cassiterita e fluorita.

Segundo A. Mariano (1989), os lateritos mineralizados em terras-raras podem representar, em escala mundial, a maior fonte de ETR. O beneficiamento e extração dos ETR nesse tipo de minério irá requerer, porém, inovações técnicas, apresentando-se como um desafio para os centros e institutos de pesquisas e para as empresas detentoras dos direitos minerários dessas áreas.

Por outro lado, países como a Rússia produzem terras-raras como subproduto da indústria dos fosfatos, e os minérios apatíticos dos complexos carbonatíticos brasileiros, com teores semelhantes ou até superiores, podem assim ser considerados como uma importante fonte potencial de terras-raras leves.

Os campos de aplicação industrial das terras-raras são numerosos. Foram sintetizados recentemente por Preinfalk e Morteani. (1989) Passamos a enumerá-los:

a) Metalurgia

- Aços especiais: HSLA ("High Strength Low Alloy"), Ferralloy (15-20% Cr; 4 - 5% Al; 0,5 - 4% de óxido de Y) e outros.
- "Ductile Cast Iron"
- Produtos pirofóricos ("pedras de isqueiro").
- Várias ligas

b) Catálise

- Craqueamento do Petróleo
- Escapamento de veículos (antipoluentes)

c) Cerâmicas

- Da indústria eletrônica
- Eletroópticas
- Na coloração
- Em refratários
- Sialon
- À base de óxidos de terras-raras específicos.

d) Vidros

- Polimento
- Ótica
- Descoloração e coloração

- Controle de radiações
- Fluorescência
- Revestimento

e) Magnetos Permanentes

- Sm - Co
- Nd - Fe-B

f) Fósforos (emissões de comprimento de onda específicos)

- Tubos de raios catódicos
- Telas de raios-X
- Lâmpadas fluorescentes
- "Lasers"

g) Energia Nuclear

h) Hidretos Metálicos

i) Sensores de Oxigênio

j) Sistemas de Células de Memória

l) Outras Aplicações

- Joalheria, YAG
- Medicina
- Sistemas de Energia Solar
- Microondas
- "Lasers" Químicos
- Refrigeradores
- Feixes Microscópicos
- Fibras Óticas
- Fertilizantes/Nutrientes Agrícolas
- Têxteis

Durante muitos anos, o único mineral de minério de terras-raras foi a monazita, que começou a ser extraída, a partir de 1887, de "placers" fluviais, na Carolina do Norte, EUA. Hoje a bastnasita é o principal mineral de minério das duas maiores jazidas de terras-raras, responsáveis por mais de 2/3 da produção mundial: Bayan Obo e Mountain Pass. (Industrial Minerals, Dec. 1991; Mineral Commodity Summaries, 1991; Falconet, 1989)

Quatro períodos importantes balizam a indústria mineira das terras-raras: (Figura 6)

1885 - Início da produção em larga escala, sendo a matéria-prima as areias monazíticas do litoral brasileiro. O Brasil tornou-se o maior produtor mundial, posição que manteve até 1915, quando passou a alternar essa posição com a Índia durante 45 anos.

1960 - Os EUA assumem a liderança da produção mundial com outro tipo de mineral: a bastnasita de Mountain Pass.

1970 - Nesta década a Austrália passa a produzir mais de 50% do total mundial de monazita.

1980 - Nos anos 80 a China surge como um gigante no comércio de terras-raras, tanto pelas reservas como pelo volume de produção da sua jazida de Bayan Obo.

O Brasil vem perdendo a sua posição, que já foi de destaque, no campo da produção e industrialização das terras-raras. A NUCLEMON, única empresa produtora, consciente do grave problema da não-evolução da sua indústria e da diminuição das reservas produtivas, chamou a atenção, a partir de 1985, para essa situação alarmante (Figueiredo Filho, 1986) e chegou mesmo a dar início a um projeto que foi intitulado "Fontes Alternativas de Terras-Raras". (Lápido-Loureiro, Figueiredo e Torezan, 1989) Porém, falta de disponibilidade financeira e de vontade política suspenderam não só esse projeto, mas também a modernização/diversificação do parque industrial da NUCLEMON. E o Brasil, que no período de 1886 até 1960 tinha acumulado metade da produção mundial de terras-raras, passou para uma modesta participação de apenas 2,5 %

(Tabela 51) e hoje a sua única usina de produção está fechada. Como contributo para a reversão dessa situação, o CETEM colocou na sua programação o Projeto Terras-Raras e coordenou a criação de um Comitê Executivo que teve a sua primeira reunião em 23/08/89, com representantes de 11 entidades. Participaram empresas privadas e estatais, instituições de pesquisa e universidades. Nessa reunião foi encarada a possibilidade de se criar uma Comissão ou Câmara Setorial de Terras-Raras. Uma segunda reunião, realizada em 27/06/90, teve a participação de 20 entidades. Serviu para promover o intercâmbio de informações e experiências e a discussão do estado da arte das terras-raras no Brasil. Ficou decidido: i) a criação, dentro da Câmara Setorial de Terras-Raras, de três subcâmaras: "Mineração e Meio Ambiente", "Tecnologia" e "Usos, Aplicações e Mercados"; ii) que a coordenação geral das subcâmaras competirá ao CETEM. Posteriormente foi decidida a criação de uma quarta subcâmara: "Técnicas Analíticas".

Com o Projeto Terras-Raras, o CETEM vem fomentando e desenvolvendo estudos em conjunto com a comunidade técnico-científica dos setores governamentais e privados, visando:

- A viabilização econômica dos depósitos de terras-raras no Brasil, que, apesar de apresentarem boas reservas e teores, se mantêm improdutivos até hoje;
- Obtenção, a partir de minérios brasileiros, de óxidos e metais de terras-raras na forma individualizada e com alta pureza.

O projeto inclui ações internas e externas que se esquematizam num organograma conceitual. (Figura 1) Das ações externas têm participado também pesquisadores do CETEM.

Recentemente, um pesquisador do CETEM deslocou-se à China, o maior produtor e o que detém maiores reservas de terras-raras em escala mundial, onde permaneceu por oito meses, tomando conhecimento dos processos de modelagem e simulação matemática do circuito de extração e da metodologia de otimização de processos extrativos, de fracionamento e de purificação.

Por outro lado, estão em curso estudos de caracterização mineralógica, concentração, lixiviação, fracionamento, separação e purificação de elementos de terras-raras de minérios brasileiros; pesquisas que envolverão ainda ensaios para a obtenção dos seus metais através de eletrólise de sais fundidos e de redução metalotérmica, visando a otimização do processo metalúrgico.

Esses estudos têm apoio material da Comunidade Econômica Européia, e técnico dos Departamentos de Mineralogia e Geoquímica da Universidade Técnica de Munique (Alemanha) e de Engenharia dos Materiais da Universidade de Trento (Itália). Nessa fase têm participado pesquisadores do CETEM, para absorverem e colaborar em no desenvolvimento de técnicas e métodos específicos.

A iniciativa privada e as empresas detentoras dos direitos minerários de depósitos de terras-raras e/ou de outros bens minerais, aos quais estejam associados terras-raras, poderão vir a ser as mais beneficiadas com o Projeto Terras-Raras. Espera-se e deseja-se que elas e os centros de pesquisa apoiem, colaborem e participem ativamente. É um projeto que visa desenvolver uma tecnologia de ponta e viabilizar economicamente depósitos improdutivos, embora com grandes reservas e bons teores de elementos considerados de alta tecnologia, o que se reveste de grande interesse para o País.

O objetivo desta monografia é apresentar uma síntese do potencial mineiro das terras-raras no Brasil, dando enfoque às suas paragéneses minerais, teores, tipologia e reservas das jazidas e depósitos conhecidos e, com base na *gitologia*¹ das terras-raras, indicar metodologias prospectivas, ambientes geológicos favoráveis à sua concentração e os rumos que poderão ser seguidos para ampliação das reservas e produção de terras-raras no Brasil.

¹Recorri à palavra "gitologia", galicismo resultante do termo original criado por P. Routhier em 1963, porque não há correspondente em português. Aplico-o, como aquele autor especifica, na comparação e na definição tipológica de depósitos minerais, abstraindo-lhe conotações genéticas. No termo "metalogenia", como a própria raiz da palavra indica, está implícito um conceito genético. Considero aquele galicismo necessário. Aliás, já foi utilizado na literatura geológica brasileira, e recorre-se a ele em Portugal e até na língua inglesa.

A título introdutório, e para uma visão mais abrangente da problemática das terras-raras nos domínios da mineralogia, geoquímica, metalogenia e novas aplicações, chama-se a atenção para o interesse de alguns artigos e livros. Entre muitos que poderiam ser citados, sugere-se a leitura/consulta de:

J.I. Skorovarov et al (1992); B.R.H. Hinton (1992); G. Morteani (1991); B.G. Lottermoser (1990 e 1991); P. Falconnet (1989); P. Moller/P. Cerny/F. Saupé eds. (1989); A.N. Mariano (1989); S. Vijayan et al (1989); J. P. Tougnnet (1987); Habashi et al (1986); P. Henderson ed. (1984); N. Lounamaa et al (1980); E. R. Rose (1976); K.J. A. Vlasov ed. (1966); Yu. L. Kapustin (1986); de periódicos específicos como o "Rare-Earth Information Center News" (trimestral) e o "Rare-Earth Information Center Insight" (mensal), ambos publicados pelo Ames Laboratory - IOWA State University; "The Economics of Rare Earths and Yttrium", editado pela Roskill com periodicidade de 5 anos; "Rare earths: Worldwide Markets, Applications, Technologies", editado por "Business Communications Company, Inc."

2. ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS SOBRE A METALOGENIA DAS TERRAS-RARAS

São chamadas de terras-raras ou elementos de terras-raras, abreviadamente TR ou ETR em português (RE ou REE em inglês), ou ainda lantanídeos, um conjunto de 15 elementos químicos cujos números atômicos vão de 57 (lantânio) até 71 (lutécio). O ítrio e o escândio, de números atômicos 39 e 21, com propriedades químicas análogas e intimamente associados, sob o ponto de vista mineralógico, aos elementos lantanídeos (também referidos como "elementos de transição interna 4f"), são designados com frequência como terras-raras. (Tabela 1) Segundo a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), a designação de Terras-Raras inclui os lantanídeos e os dois elementos escândio e ítrio.

Terras-raras não é uma designação feliz. A primeira palavra foi utilizada, de forma imprecisa, porque os seus óxidos insolúveis tinham aspecto terroso; a segunda, porque foram erradamente consideradas raras na natureza pelos químicos que iniciaram o seu estudo no final do século dezoito. Como se apresentam muito dispersas, a sua abundância relativa só foi reconhecida após aperfeiçoamento dos métodos de análise, progresso no conhecimento da sua geoquímica e avanço da prospecção e pesquisa dos seus minerais.

Na crosta terrestre, as TR em conjunto (128ppm) são mais abundantes que vários elementos comuns, como o Cu (70ppm), Sn (40ppm), Co (23ppm), Pb (16ppm), Mo (9ppm). (Tougniet, 1987)

Em geral, os ETR de números atômicos inferiores aos do gadolínio são designados por elementos de terras-raras leves (ETRL, ou LREE em inglês) ou cêrica (TRCe), e os de números atômicos superiores aos do európio, por elementos de terras-raras pesadas (ETRP, ou HREE em inglês) ou ítricas (TR_Y). No âmbito da geoquímica, é útil dividir os ETR em três subgrupos: subgrupo do lantânio (La-Nd), subgrupo do ítrio (Sm-Ho) e subgrupo do escândio (Er-Lu). Esta divisão permite, por exemplo, a utilização de diagramas triangulares, mais específicos, na definição da composição dos ETR nos minerais e rochas.

2.1 - Geoquímica e Cristalquímica

Os ETR e o Y estão incluídos no grupo III-B da tabela periódica. Todos têm propriedades químicas e físicas muito semelhantes, o que se compreende facilmente ao ser considerada a sua estrutura eletrônica. (Tabela 2)

Como é do conhecimento geral, a passagem de um elemento ao outro por aumento de uma unidade do número atômico, corresponde à captura de um elétron, "elétron de valência", que se situa geralmente numa órbita externa. No grupo das TR, o aumento de elétrons verifica-se numa camada profunda (4f), permanecendo constantes os das camadas superficiais. Aumentando a carga do núcleo com o número atômico, cresce a atração sobre os elétrons periféricos, resultando uma contração das órbitas eletrônicas, tanto maior quanto maior for o número atômico - "contração lantanídica".

As pequenas diferenças de raios iônicos entre os ETR explicam que eles estejam sempre misturados no estado natural. A contração lantanídica acompanha-se de uma diminuição do caráter eletropositivo, o que faz surgir, entre as extremidades do grupo, propriedades cristalquímicas suficientemente diferentes para que se possam dividir as TR em dois grupos: cêricas e ítricas, fato que, de certo modo, se reproduz na formação dos minerais.

Sob o ponto de vista geoquímico, as TR pertencem ao grupo dos elementos litófilos. Porém, durante a solidificação dos magmas silicatados, separam-se dos elementos comuns do grupo, em consequência dos seus grandes raios iônicos, cristalizando-se em fases distintas com outros elementos, tais como Ti, Nb, Ta, Th.

Sabe-se que a crosta terrestre se apresenta enriquecida em ETR (151ppm) quando comparada com a Terra (5ppm), (Henderson, 1984) que o "Clarke dos ETR das rochas ígneas ácidas é superior ao das rochas básicas, que as rochas alcalinas se apresentam, por vezes, fortemente enriquecidas em ETR e que os carbonatitos são, entre todas as famílias de rochas, aqueles que, geralmente, apresentam teores mais elevados de ETR. Lápido Loureiro et al, 1989) Em condições favoráveis, a associação

ETRP-Ta(Nb) pode encontrar-se sob a forma de fortes anomalias geoquímicas, ou até de concentrações explotáveis, em pegmatitos graníticos ou em alcali granitos, como, por exemplo, na Nigéria e em Pitinga, Brasil, enquanto que o enriquecimento ETRL-Nb(Ta) é uma constante dos complexos alcalinos e/ou carbonatíticos (ex.: Araxá, Catalão). No primeiro caso, verifica-se que o enriquecimento situa-se num contexto de diferenciação/evolução crustal, enquanto no segundo tratar-se-ia de um enriquecimento progressivo, nas diversas fases da evolução magmática, a partir de um magma inicial proveniente do manto.

Vários pesquisadores, com destaque para Semenov (1957 e 1958), consideram que a estrutura do mineral desempenha o principal papel na captura de íons específicos de ETR. Os minerais com números de coordenação altos (10-12) para os pontos de localização de ETR na rede cristalina são seletivos para o Ce; os de baixo números de coordenação (6), para o Y; os de valores intermediários (7-9) apresentam composições complexas com ETRL e ETRP. (Clark, 1984)

Outros autores consideram as condições de formação da paragênese mineral da maior importância na distribuição dos ETR.

Neumann et al (1966) concluíram que ambos os processos podem estar presentes. Clark (1984) cita os fatores que controlam a distribuição dos ETR nos minerais: i) a disponibilidade de elementos de raio iônico compatível; ii) forças de ligação apropriadas; e iii) carga/raio iônico compatíveis com uma determinada posição estrutural.

A formação de minerais de TR é possível nas rochas em que a razão $100 (TR_2O_3/Ca) > 1$. Para valores inferiores, as TR dispersam-se pelos minerais constituintes da rocha. (Smirnov, 1976)

O grande raio iônico dos ETR dificulta/impossibilita a sua troca por outros elementos nos minerais, exceto quando o cátion substituído é, também, de grandes dimensões. Pode então ser substituído por ETR trivalentes.

Segundo Henderson (1984), outro aspecto que deve ser considerado é a substituição de ETR trivalentes por cátions de carga diferente

("substituição altrivalente"), o que requer mecanismos de compensação de carga. Pode envolver, por exemplo, a substituição adicional de um ETR trivalente (símbolo R^{3+}) por Ca^{2+} . Na anortita esta substituição implica ainda a troca de Al^{3+} por Si^{4+} .



pode acontecer também a troca por 2 Ca^{2+}



Já no caso da apatita, a substituição se dá por uma vacância (símbolo []), resultando:



Os lantanídeos, em regra trivalentes, podem apresentar-se eventualmente como bivalentes. Em particular o Eu, raro como ocorrência natural, aparece, por vezes, em quantidades notáveis nos minerais de Pb e, sobretudo, de Sr, sob a forma de Eu^{2+} . Com raio iônico 1,17 a 1,35Å, pode substituí-los, nos minerais. O complexo carbonatítico de Barra do Rio Itapirapuã deve merecer particular atenção, visto que foram encontrados minerais de Pb nas rochas carbonatíticas (galena, wulffanita). O Eu^{2+} pode ainda substituir o Ca^{2+} (1,00 - 1,34Å) e Na (0,99 - 1,39Å).

O comportamento das TR em minerais de diferentes tipos de rochas é referido por Clark (1984):

- a) as rochas ígneas podem conter várias centenas de ppm de lantanídeos, distribuídos nos minerais principais e/ou acessórios; considerando o coeficiente de distribuição entre o mineral e a matriz, verifica-se que, entre os minerais comuns, são os anfíbólios e clinopiroxênios cálcicos que apresentam os maiores valores, e os feldspatos evidenciam, invariavelmente, forte anomalia positiva de európio;

- b) nas rochas graníticas, os ETR estão concentrados principalmente em minerais acessórios, como titanita, apatita e monazita;
- c) nas rochas sedimentares, tais como calcários e arenitos, os minerais argilosos são, habitualmente, abundantes e apresentam os teores mais altos de ETR, superiores aos dos carbonatos e quartzo;
- d) entre os minerais típicos de rochas metamórficas, as granadas são fortes concentradoras de ETR; importantes concentrações de ETR ocorrem em minerais acessórios de certos metamorfitos, como constituintes principais (ex. monazita) ou secundários (ex. apatita) e
- e) entre todas as famílias de rochas, são os carbonatitos que contêm os maiores teores de ETR (72 - 15.515ppm) e as maiores razões La/Lu normalizadas para condritos (7,1 - 1.240); (Cullers e Graf, 1984) As TR distribuem-se, nos carbonatitos precoces, em minerais como a calcita, apatita e pirocloro, e nos tardios formam minerais específicos de TR.

Alderton et al. citados por Humphris (1984) mostraram que, em alguns granitos, apenas 50% das TR contidas na rocha estão nos minerais principais. O restante concentra-se em minerais acessórios, como apatita, zirconita e titanita. Estes minerais e a allanita agem como concentradores de ETR.

2.2 - Mineralogia

Os ETR apresentam-se, freqüentemente, como elementos acessórios dos minerais sob duas formas:

- como "cristais estranhos", em inclusões formadas durante o crescimento do mineral principal ou, acessoriamente, nas suas fendas e superfícies, por introdução accidental, posterior à formação do mineral original;
- como elementos acompanhantes, introduzidos no mineral principal por isomorfismo.

Em relação ao conteúdo em TR, os minerais podem ser agrupados em três conjuntos:

- minerais comuns nas rochas com baixas concentrações de ETR;
- minerais contendo TR, mas não como constituinte essencial (são conhecidos mais de 200 podendo conter um percentual superior a 0,01, em peso, de ETR) e
- minerais em que os ETR são representativos ou essenciais (não menos de 70).

Mais de 95% da produção de óxidos de terras-raras (OTR, TR₂O₃-REO em inglês) provêm de apenas 3 minerais (não se considerou a CEI): a bastnasita, (Ce, La)CO₃F, que contém 60 - 70% de OTR com pequenas quantidades de Y₂O₃ (0,1%); a monazita, (Ce, La, Nd, Th, Y)PO₄, com 55 - 60% de OTR nos seus concentrados típicos, que incluem 2% de Y₂O₃, tornando-os a maior fonte de Y, o xenotímio, YPO₄, que pode conter 61,5% de Y.

Além destes, são também importantes pelo seu conteúdo em TR e/ou pela sua freqüência nas rochas, os seguintes minerais:

- Apatita (Ca, Ce)₅((P, Si)O₄)₃F
- Loparita (Ce, Na, Ca)₂(Ti, Nb)₂O₆
- Pirocloro (Na, Ca, Ce)₂Nb₂O₆(OH,F)
- Fergusonita (Y, Ce, U, Th, Ca) (Nb, Ta, Ti)O₄
- Samarskita (Y, Er, Fe, Mn, Ca, U, Th, Zr) (Nb, Ta)₂(O,OH)
- Euxenita (Y, Er, Ce, U, Pb, Ca) (Nb, Ta, Ti)₂(O, OH)₆
- Allanita (Y, Ce, Ca)₂ (Al, Fe³⁺)₃ (SiO₄)₃(OH)
- Cerita (Ca, Mg)₂Ce₈(SiO₄)₇ 3H₂O
- Fluocerita (Ce, La)F₃
- Brannerita (Ca, Fe, Y, Th, Ce)₃ (Ti, Fe)₂O₆
- Gadolinita Be₂FeY₂Si₂O₁₀

- Zirconita (Zr, Th, Y, Ce) SiO₄
- Itriosynchisita (Y, Ce) Ca(CO₃)₂F

A loparita, descoberta na União Soviética em 1934, reveste-se de considerável importância para a CEI. É importante mineral minério de TR nesse país, onde a produção de ETR, a partir da loparita, teve início em 1951 na mina de Karnasursk. O tratamento em larga escala da loparita, por cloração, começou em 1971, na planta de magnésio de Solikamsk. Hoje, contudo, a maior produção comercial de TR, proveniente dos resíduos de cloração, ocorre na planta químico-metalúrgica de Irtysh. Estas instalações produzem "mischmetal", separam ETR usando os métodos de extração por solventes e cromatográficos e são o maior fornecedor de fósforos de Y-Eu.

O processamento de loparita inclui a produção, além dos ETR, de Ta, Nb e Th. A sua composição é de 30% de TR₂O₃, 40% TiO₂ e 12% de Nb₂O₅ + Ta₂O₅. (Kosynkin, 1992)

A itriosynchisita é o mineral que resolve o problema da deficiência de TR pesadas na CEI. O seu beneficiamento teve início em 1966 no depósito de Kutessaisk. Atualmente, são produzidos, a partir do minério desse depósito: i) óxidos de praticamente todos os ETR, incluindo Y; ii) Nd metálico; iii) diferentes variedades de fósforos. (Kosynkin, 1992)

A composição destes minerais em OTR totais é a seguinte: (Kosynkin, 1992)

	Loparita	Itriosynchisita
Ce	52,5%	24,8%
Nd	14,0	9,7
Sm	0,7	3,2
Eu	0,1	0,1
Y	1,0	30,0

2.2.1 - Halóides, Fluorcarbonatos e Carbonatos

Dimensões e cargas elevadas dificultam a formação de minerais específicos de TR, o que provoca o seu enriquecimento nos fluidos residuais magmáticos. Altas concentrações de ETR encontram condições para se formar se as fases ricas de voláteis forem retidas durante a cristalização de magmas fortemente diferenciados e saturados de água. (Ginzburg et al, 1978) O CO₂ entra diretamente na formação das rochas carbonatíticas, e o flúor pode desempenhar papel importante no decorrer da evolução de magmas alcalicarbonatíticos altamente diferenciados, tanto como elemento volátil (transportador), quanto gerador de minerais específicos com ETR (fluorita, por exemplo) ou de TR (fluocerita).

A fluorita, CaF₂, contém habitualmente pequenas quantidades de ETR, mas eventualmente pode apresentar teores de até 14,1% de Ce e 13,7% de Y. (Clark, 1984) Os ETR substituem o Ca na estrutura cristalina com um índice de coordenação 8, o que torna possível o enriquecimento tanto em ETRL quanto em ETRP.

A fluocerita (tysonita), (Ce, La)F₃, é comum em pegmatitos, com freqüência alterada parcialmente em bastnasita.

Os fluorcarbonatos de TR constituem importante grupo. Entre eles destacam-se:

Bastnasita	(Ce, La) (CO ₃)F
Hidroxi-bastnasita	Ce(CO ₃)(OH, F)
La-bastnasita	(La, Ce) (CO ₃)F
Y-bastnasita	(Y, Ce, Dy)(CO ₃)F
Thorbastnasita	(Ca, TR) Th(CO ₃) ₂ F ₂ ·3H ₂ O
Parisita	(Ce, La) ₂ Ca(CO ₃) ₃ F ₂
Cordylita	(Ce, La) ₂ Ba(CO ₃) ₃ F ₂
Röntgenita	(Ce, La) ₃ Ca ₂ (CO ₃) ₂ F
Synchysita	(Ce, La) Ca(CO ₃) ₂ F
Y-Synchysita	(Y, Ce)Ca(CO ₃) ₂ F
Nd-Synchysita	(Nd, La)Ca(CO ₃) ₂ F
Huanghoíta	(CeBa)(CO ₃) ₂ F
Zhonghuacerita	(Ba ₂ Ce)(CO ₃)F

A **bastnasita**, pelas suas propriedades/teores e reservas, é o mais importante mineral de minério de TR e um dos mais frequentes, ocorrendo em muitos pegmatitos, habitualmente associada à cerita, fluocerita e allanita, às vezes como produto de alteração dos dois últimos minerais, em carbonatitos e em escarnitos. É um mineral Ce-seletivo. (Tabela 3)

Uma compilação de 100 análises de minerais do grupo da bastnasita mostra um aumento dos ETRL dos granitos e pegmatitos graníticos, até as rochas alcalinas e carbonatitos. (Fleischer, 1978)

Na thorbastnasita, os ETR são parcialmente substituídos por Ca e Th, e o seu teor diminui substancialmente. Em albitos da Sibéria oriental apresenta apenas 7,46% em peso de TR₂O₃, com igual distribuição de ETRL e ETRP. (Pavlenko et al., 1965; In: Henderson, 1984)

Outros fluorcarbonatos de TR comuns são a **parisita** e a **synchysita**.

Huanghoíta e **zhonghuacerita** foram encontradas em Bayan Obo. (Pei - Shan, 1991)

Os carbonatos de TR são menos comuns do que os fluorcarbonatos. A **ancylita**, SrCe(CO₃)₂OH·H₂O ocorre em pegmatitos de rochas alcalinas e em carbonatitos. Outros carbonatos de TR revestem-se apenas de

interesse mineralógico, como a **burbankita**, **calkinsita**, **carbocernaíta**, **donnayita**, **ewaldita**, **lanthanita**, **mekelveyita**, **sahamalita** e **tengerita**.

2.2.2 - Fosfatos

O fósforo é outro elemento volátil que pode desempenhar importante papel nas mineralizações carbonatíticas, incluindo a formação de fosfatos de TR e com TR. No primeiro caso, os mais importantes são:

- Monazita (Ce, La, Nd, Th) (PO₄SiO₄)
- Rabdofanita (Ce, La)PO₄H₂O
- Florencita CeAl₃(PO₄)₂(OH)₆
- Xenotímio YPO₄

As monazitas apresentam um forte e seletivo componente de ETRL, (Tabela 4) como seria de esperar, com os ETR numa posição de coordenação 9. (Ueda, 1967) Jensen (1967), como o autor anterior, citado por Henderson (1984), afirma que a estrutura da monazita aceita íons cujos raios estejam entre os do La e os do Eu.

Sendo a monazita isoestrutural da cheralita, (TR, Th, Ca, U) (P, Si)O₄ e huttonita, ThSiO₄, e atendendo ao raio iônico do Th, é fácil compreender porque este elemento está habitualmente presente na monazita. Th₂O pode atingir valores de até 13%, em peso, na sua composição. Bouissières et al. (1959) referem que as monazitas de Sri Lanka podem conter até 28,2% de Th₂O.

A **rabdofanita**, mineral secundário muito comum, é considerado como resultante do intemperismo da bastnasita, belovita, britolita, steenstrupita, ou de outros minerais de TR. São citados teores acima de 60% com grande seletividade para os ETRL. (Clark, 1984) No Brasil é um mineral comum nas ocorrências de TR.

A **florencita** é um membro do grupo da crandalita, CaAl₃(PO₄)₂(OH)₅·H₂O. Este mineral é muito comum nos solos lateríticos

do Brasil. Na florencita, o Ca da crandalita é quase inteiramente substituído por TR céricas. O teor de TR na florencita, que é fortemente Ce-seletiva, pode ultrapassar 30%, em peso de OTR.

O xenotímio é um importante mineral de Y e o mais comum no sistema YPO_4 (xenotímio)- $YAsO_4$ (chernovita)- YVO_4 (wakefieldita). É extraído como subproduto nos depósitos aluvionares de cassiterita e/ou de columbo-tantalita. Apresenta consideráveis variações na composição das ETRP. (Tabela 5)

Foram referidos quatro importantes minerais de fosfatos de TR. Além desses, merece destaque especial um grupo de fosfatos com TR - o da apatita.

No grupo da apatita, de fórmula $A_5(O_4)_3(F, OH, Cl)_3$ em que $A = Ca, Be, Ce, Pb, etc.$ e $X = P, As, V$ etc., o membro mais comum é a fluorapatita, $Ca_5(PO_4)_3F$. Vários minerais do grupo, como por exemplo, a belovita ($Sr, Ce, Na, Ca)_5(PO_4)_3 OH$ e a britholita ($Ce, Ca)_5(SiO_4, PO_4)_3(OH, F)$ contêm ETR como constituintes maiores, mas no geral as fluorapatitas contêm pequenas, porém, importantes quantidades (milhares de ppm). No entanto, em apatitas de rochas alcalinas, encontram-se valores de até 12% de ETR. (Clark, 1984)

Na estrutura cristalina da apatita, os ETR ocupam a posição do Ca em duas situações distintas, coordenações 7 e 9, o que, segundo Fleischer (1965), pode conduzir a distribuições complexas com os grupos do Ce e do Y, presentes simultaneamente.

Nas apatitas de origem marinha parece haver equilíbrio entre os ETRL e as ETRP. Segundo Fleischer e Altschuler (1969), essas apatitas são tão deficientes em Ce que predominam o La e o Nd, em função, provavelmente, dos baixos teores do Ce na água do mar, resultante da oxidação de Ce^{3+} em Ce^{4+} , e remoção por precipitação sob a forma de óxidos de Mn hidratados (os nódulos de Mn apresentam-se muito enriquecidos em Ce).

Os minerais do grupo crandalita - crandalita $(CaAl_3PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$; goyazita, $SrAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$; gorceixita, $BaAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$;

florencita $CeAl_3(PO_4)_2(OH)_6$; plumbogumita $PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$ - contêm sempre TR e são muito freqüentes na natureza.

A crandalita é mineral comum e até muito abundante em lateritos. A sua estrutura aberta permite-lhe incorporar íons de grandes raios iônicos, como Ba, Sr, Pb, ETR, que substituem diadoquicamente o Ca.

Enquanto a solução sólida característica dos lateritos comuns é do tipo crandalita-goyazita, nos solos ferralíticos, desenvolvidos sobre complexos carbonatíticos, é do tipo gorceixita-goyazita. Segundo Bessler e Zambiasi (1983), a obtenção de ácido fosfórico, a partir de fosfatos de alumínio do tipo crandalita-goyazita, dá origem a um resíduo rico de TR, U e Sr, e, por vezes, de Zr, Sc e Nb. (In: Costa e Siqueira, 1988)

2.2.3 - Silicatos com TR

São numerosos os silicatos com TR. A grande maioria, contudo, representa mais interesse mineralógico do que econômico. Alguns merecem ser destacados pela sua abundância e/ou teores de OTR.

A allanita, $(Ce, Ca, Y)_2(Al, Fe^{2+}, Fe^{3+})_3(SiO_4)_3 OH$, membro cérico do grupo do epidoto $Ca_2(Al, Fe^{2+}, Fe^{3+})_2(SiO_4)_3 OH$, resulta da separação emparelhada $Ca \leftrightarrow ETR$ e $Al \leftrightarrow Fe^{2+}$. É um mineral acessório comum em granitos, granodioritos, monzonitos e sienitos. As allanitas de Peixe (TO) ocorrem sob a forma de massas compactas em bolsões pegmatíticos nas proximidades do complexo alcalino. Apresentam teores de 22,6% de OTR.

A britholita, $(Ce, Ca)(SiO_4, PO_4)(OH, F)$, pode atingir valores de até 62% de TR_2O_3 . Ocorre principalmente em nefelina sienitos e por metassomatismo, no contato com alcali sienitos e granitos.

A eudialita, $(Ca, Na, Ce)_5(Zr, Fe)_2 Si_6(O, OH, Cl)$ comum no complexo alcalino de Poços de Caldas, apresenta composição complexa em ETR, que pode atingir teores de até 6,4%.

A gadolinita, $(Y, TR)_2Fe_2+Be_2Si_2O_{10}$, ocorre em granitos, pegmatitos graníticos, freqüentemente associada à fluorita e allanita. Os teores de

TR_2O_3 podem atingir valores de até 55,4%. Habitualmente o Y é o elemento predominante, mas na Noruega é referida uma gadolinita com 24,5% de Ce_2O_3 (Clark, 1984)

O **esfênio** ou titanita, $CaTiSiO_4$, mineral acessório muito comum em rochas ígneas e metamórficas, é um importante concentrador de ETR. No Alaska são referidos esfênios com 20.350 a 39.180ppm de ETR. Keilhauita (Y-titanita) é uma variedade com até 12% de $(Y, Ce)_2O_3$ enriquecida em Y, enquanto a maioria dos esfênios, com mais baixos teores de ETR, são céricos. (Clark, 1984)

A **torita**, $ThSiO_4$, contém habitualmente baixa percentagem de ETR céricas, mas é referida em pegmatitos do Colorado com teores de até 20% de TR_2O_3 com Y predominante.

A **zirconita**, $ZrSiO_4$, é isoestrutural do xenotímio, YPO_4 . Quase sempre com pequenas quantidades de TR ítricas, que entram na sua estrutura por substituição isomórfica, $Y^{3+} + P^{5+} \leftrightarrow Zr^{4+} + Si^{4+}$, podendo atingir, contudo, valores de até 18%.

2.2.4 - Óxidos

A série da **eschynita-priorita** $(Ce, Ca, Fe, Th)(Ti, Nb)_2(O, OH)_6$ -(Y, Ca, Fe, Th) $(Ti, Nb)_2(O, OH)_6$ apresenta valores de 16 - 36% de TR_2O_3 , céricas no primeiro membro, ítricas no segundo. Esse mineral foi encontrado no complexo alcalino de Peixe (TO) com um teor de 41,7% de TR_2O_3 . (Figueiredo e Lapido-Loureiro, 1984)

Brannerita, $(U, Ca, Ce)(Ti, Fe)_2O_6$, é um mineral sempre metamictico com teores de até 11,6% de TR_2O_3 . A tendência atual é considerá-lo mais ítrico do que cérico. Ocorre principalmente em pegmatitos e nos minérios de urânio.

Na série **euxenita-policrásio**, $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti)O_6$ - $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Ti, Nb, Ta)_2O_6$ o ítrio é sempre predominante. São referidos valores de até 40% de $(Y+TR)_2O_3$. Essa série ocorre em pegmatitos graníticos.

A **fergusonita**, $(Y, Er)(Nb, Ta)O_4$, é o termo mais comum da série fergusonita-formanita $(Y, Er)(Ta, Nb)O_4$. É freqüente em pegmatitos. Referem-se valores de até 51% de TR_2O_3 nesta série. (Clark, 1984)

Grupo do **pirocloro**, de fórmula geral $A_2B_2O_6(O, OH, F)$, correspondendo A a Na, Ce, ETR, K, U etc. e B a Nb, Ta, Ti. Compreende três subgrupos definidos pelos teores relativos de Nb, Ta e Ti. Pirocloro é o termo niobífero; microlita, quando predomina Ta e betafita, quando Ti é mais abundante. Pirocloro e betafita são as variedades mais ricas de ETR. Conhecem-se Y-pirocloros e Ce-pirocloros. As TR_{Ce} são as mais comuns no pirocloro (até 13% de TR_2O_2) e as TR_Y na betafita (até 16%). O pirocloro é um mineral acessório comum nos complexos alcalino-carbonatíticos. O Brasil detém as maiores reservas mundiais desse mineral e é o maior produtor de Nb.

A **samaraskita**, $(Y, Ce, U, Fe)(Nb, Ta, Ti)_2(O, OH)_6$ é um niobo-tantalato complexo em que o Nb predomina sobre o Ti e Ta, sempre metamictizado. Y e TRY são predominantes, sendo o Sm a principal TRCe. Os teores de $(Y + TR)_2O_3$ oscilam entre 16-25%. É mineral comum em pegmatitos graníticos.

2.3 - Tipos de Depósitos

As TR estão largamente distribuídas, em baixas concentrações, na crosta terrestre, e os seus minerais e depósitos, de interesse econômico real ou potencial, são encontrados em ambientes geológicos variados.

Jazidas de outros minerais podem ser também importantes fontes de TR. Bayan Obo, jazida de magnetita e fluorita, na China, contém as maiores reservas mundiais de TR. Atualmente é a maior produtora mundial de TR.

As apatitas dos complexos alcalino-carbonatíticos podem apresentar-se fortemente enriquecidas em TR, e a sua recuperação é possível quando associada ao processo de produção de ácidos fosfóricos, como acontece na Rússia, península de Kola. (Golovanov et al. in Henderson, 1984)

Apatitas e fosforitos apresentam normalmente altas proporções de TR médias e pesadas e, na Rússia, as TR são recuperadas, como subproduto, em fosforitos uraníferos com 0,1 - 0,2% de TR. (Skovovarov et al, 1992)

A Companhia Vale do Rio Doce, após estudos detalhados, concluiu que era viável a recuperação das TR como subproduto da produção de Ti no minério de anatásio de Tapira, MG, que contém 0,9 - 1% de OTR. (Baeta, 1988; Revista CVRD Nº 23, 1986 e dados pessoais)

O xenólito, principal mineral de ítrio, é coproduto ou subproduto da mineração de depósitos aluvionares de cassiterita.

A empresa SAMITRI viabilizou a extração de monazita como coproduto de "placers" aluvionares auríferos do rio Sapucaí, MG. (Souza e Paixão, 1989)

Os "placers" marinhos são responsáveis por cerca de 1/3 da produção mundial de TR, e elas são extraídas como subproduto ou coproduto de outros bens minerais, como a ilmenita, zirconita e rutilo.

2.3.1 - Endógenos

Os mais importantes depósitos endógenos de TR são tardio-magmáticos, associados a magmas alcalino-carbonatíticos. Smirnov (1976) relaciona-os aos estágios tardios de ciclos geossinclinais ou ao magmatismo e metassomatismo alcalinos durante os estágios de reativação dos ciclos plataformais.

2.3.1.1 - Carbonatíticos

Os complexos carbonatíticos apresentam, no geral, diversas fases de atividade, e minerais primários de TR não são encontrados nas fases precoces, calcíticas. (Smirnov, 1976) Nos calcita-carbonatitos, enriquecidos em apatita e pirocloro, as TR localizam-se essencialmente no pirocloro, apatita e calcita. Durante a cristalização de carbonatitos

tardios ankeríticos, as TR podem ser liberadas das calcitas primárias que, segundo Vlasov (1976), chegam a conter 0,1 a 0,2% de OTR e formar os seus próprios minerais: bastnasita, parisita, ancylita e, mais raramente, monazita sem Th. (Smirnov, 1976) Ainda segundo o mesmo autor, estes minerais associam-se à fluorita e, por vezes, à estroncionita, barita e sulfetos. Os teores de OTR nos carbonatitos desse tipo são da ordem de 1 - 3%, podendo aumentar até 8 - 10%, e até mais, em solos residuais resultantes do seu intemperismo.

Mountain Pass, na Califórnia, EUA, é um caso raro em que a mineralização de bastnasita-parisita, é primária. Experiências laboratoriais realizadas por Jones e Wylie (1983), visando reproduzir um fluido semelhante ao carbonatito primário de Mountain Pass, mostraram que calcita e bastnasita podem ser precipitadas juntas.

Mountain Pass, descoberta em 1949, foi, até a década de 80, a maior concentração conhecida de TR. O mineral de minério é a bastnasita que ocorre em carbonatitos, intrusivos num complexo essencialmente granito-gnáissico. Os carbonatitos formam um corpo principal com 730m de comprimento e até 210m de largura, e diques no geral com menos de 2m de espessura. O minério contém em média 12% de bastnasita, 20% de barita, 10% de quartzo e silicatos e 58% de carbonatos, principalmente calcita. Os teores de OTR no minério oscilam entre 5 - 15%, com concentrações locais de até 40% e uma média de 7% de TR₂O₃.

2.3.1.2 - Hidrotermais Plutogênicos

Smirnov (1976) inclui neste tipo a maior jazida de TR do mundo: Bayan Obo. Situa-se na Mongólia Interior, China, no contacto do embasamento arqueano com uma área geossinclinal hercíniana. A jazida está localizada em calcários dolomíticos. Soluções ricas de carbonatos alcalinos e de ferro, provenientes de granitos alcalinos, de rochas sieníticas e gabróicas hercínianas, que afloram ao sul, teriam dado origem às mineralizações de ferro e de ETR/Nb.

O minério de ferro ocorre sob a forma de corpos tabulares e de lentes, em dolomitos, apresentando forte mergulho. Os seus principais minerais

são a magnetita e a hematita, estando as TR intercaladas neles (Lee, 1970) com uma mineralogia complexa que inclui, entre os minerais mais importantes, a série niobo-aeschinita-titana-eschinita, a bastnasita e a monazita. (Neary e Highley, 1984)

O depósito, com 18km de comprimento da direção E-W e 2 a 3km de largura média, compreende três corpos mineralizados: leste, principal e oeste. O corpo principal apresenta um teor de 35% de Fe e 6,19% de OTR; o de leste, 33% de Fe, 5,17% de OTR e zonas enriquecidas da ordem de 1% de OTR. (Argall, 1980)

Há autores que, baseados na geoquímica e mineralogia do depósito, consideram as rochas carbonáticas de Bayan Obo como carbonatíticas. (Zhou, et al, 1980) Estudos mais recentes, que incluíram determinações isotópicas, questionam aquela hipótese. Mariano (1989), depois de citar aquele autor, afirma que a presença de grandes quantidades de quartzo e fluorita no minério sugere atividade hidrotermal, e que talvez seja um dos maiores depósitos hidrotermais geneticamente ligado a rochas ígneas mantélicas.

2.3.1.3 - Pegmatíticos

Embora sejam comuns, nos pegmatitos, minerais de TR, a sua participação em termos de geologia quantitativa é irrelevante.

Nos pegmatitos graníticos, os mais comuns, os ETR associam-se com U, Th, Zr, Hf e, por vezes, com Nb, Ta, Li e Be. Os melhores exemplos são dados pelos campos pegmatíticos de Madagascar, Canadá, Sul da Noruega e Suécia. Caracterizam-se por grande variedade de titano-tantaló-niobatos de TR que contêm quantidades substanciais de Y e outros ETR (Vlasov, 1976).

Os pegmatitos de rochas alcalinas, principalmente os derivados de rochas agpáticas são, com freqüência, mineralizados em TR (Yukspor, Rússia) geralmente associadas a Th, U e Zr, como ocorre em Ilimaussaq, Groenlândia e Poços de Caldas, Brasil. (Biondi, 1986)

2.3.1.4 - Veios

Os depósitos de veio, suficientemente enriquecidos em TR para os tornar atrativos, são quase sempre carbonatíticos. No entanto, o de Steenkampskraal, na República da África do Sul situa-se numa zona esmagada granito-gnáissica com 300m de comprimento e 4m de largura máxima. Monazita e apatita constituem 80% do minério. Foi a maior fonte mundial de monazita de 1952-1959 e de 1962-63. (Niery e Highley, 1984)

Existem concentrações importantes de TR em veios tardios carbonatíticos, geralmente fora dos complexos. São desse tipo os veios e fraturas hematíticos com monazita, xenotímio e torianita de Iron Hill e Mountain Pass nos EUA.

Em Karonge, no Zaire, veios constituídos quase que apenas por bastnasita-monazita cortam quartzitos e xistos. A sua química reflete uma origem hidrotermal de fonte carbonatítica.

2.3.1.5 - Metassomáticos

Metassomatitos feldspáticos e alcali-granitos albitizados podem ser fontes de TR. Segundo Smirnov (1976), as TR podem ser extraídas como subproduto em depósitos de Ta-Nb associados a estas litologias. Estão contidas em tântalo-niobatos, fluoretos e, menos freqüentemente, em silicatos.

Ainda segundo aquele autor, os albitos associados a granosienitos, alcali-granitos, sienitos e alcali-sienitos são ambientes favoráveis para a formação de depósitos de TR.

A composição dos ETR nos albitos depende da alcalinidade, da natureza da rocha-mãe e da composição da rocha encaixante. A razão TR_Y/TR_{Ce} aumenta da parte central para as zonas apicais e de contato. Predominam as TR_{Ce} , quando o metassomatismo se desenvolve em rochas hospedeiras básicas, e as ítricas, no caso das rochas serem ácidas.

No Brasil há um excelente exemplo deste tipo de ocorrência de TR: o granito albitizado de Madeira, na região de Pitinga (AM). Nesta área, o xenotímio é um subproduto do minério de cassiterita.

2.3.2 - Exógenos

Os depósitos exógenos de TR são os de distribuição mais ampla e os de mais fácil exploração. A monazita é um mineral acessório comum nas rochas. Pela sua densidade, resistência ao transporte e ao intemperismo, dá origem, com frequência, a depósitos do tipo "placers", principalmente marinhos. Embora abundante na natureza, a monazita participa apenas com 1/3 da produção mundial de TR. Os outros 2/3 provêm da bastnasita de Bayan Obo (China) e Mountain Pass (EUA).

No Brasil, como já foi dito, as maiores reservas de TR situam-se em crostas de alteração, com enriquecimento residual, em complexos alcalino-carbonatíticos. Entretanto, toda a produção é oriunda de depósitos aluvionares marinhos. Tal fato se deve possivelmente à complexidade dos minérios de TR associados a solos lateríticos, à falta de trabalhos de pesquisa detalhados e quantitativos de mineralogia e cristalquímica, bem como a não execução de estudos seqüenciais e abrangentes de beneficiamento e extração química que irão requerer, certamente, outro posicionamento metodológico e inovações técnicas, ainda não tenha permitido uma definição fundamentada e conclusiva quanto à viabilidade do seu aproveitamento econômico. É um projeto que está sendo desenvolvido pelo CETEM no âmbito do Programa Terras-Raras.

2.3.2.1 - Crostas de Alteração/Enriquecimento Residual

Os carbonatos das rochas carbonatíticas são facilmente dissolvidos quando sujeitos ao intemperismo. A remoção seletiva de Ca e Mg vai provocar o enriquecimento relativo dos elementos menos móveis. A formação de importantes concentrações de ETR em solos ferralíticos, sobre carbonatitos, não exige que estes tenham minerais de TR. A fonte de ETR pode estar nos carbonatos e na apatita dos carbonatitos,

(Mariano, 1989) O mesmo autor refere-se ao fato dos carbonatitos calcíticos e magnésíferos de Araxá, sem minerais de TR, apresentarem teores de 0,28 a 0,5% de ETR, em contraste com os lateritos deles derivados, que contêm grande quantidade de minerais supergênicos de TR. Conhecem-se três situações de ocorrências de TR em Araxá: i) formando um depósito de 800.000t no quadrante nordeste ("Área Zero"), com teor de 13,5% de OTR; (Souza e Castro, 1968) ii) concentrando-se (7 % de monazita e 5% de gorceixita/goyazita) no centro da jazida de pirocloro, (Jaffe e Selchow, 1960) ou fazendo parte do minério de nióbio, constituído por um solo ferralítico com 51% de óxidos de ferro e teores da ordem de 5% de monazita e 5% de gorceixita; (Silva, 1985) iii) associando-se ao minério apatítico e, principalmente, à sua cobertura rica de fosfatos não-apatíticos, com teores oscilando entre 1 e 8% de TR₂O₃.

A monazita supergênica tende a concentrar-se na parte central, sobre as rochas carbonatíticas, enquanto minerais com TR do grupo da cranalita se concentram na parte externa, onde as rochas aluminosilicáticas encaixantes podem contribuir com Al. (Mariano, 1989)

Os solos ferralíticos das regiões tropicais e equatoriais resultantes do intemperismo de complexos alcalino-carbonatíticos devem merecer uma atenção muito especial. Araxá, Catalão, Poços de Caldas e talvez Mato Preto são bons exemplos no Brasil. A. Mariano (1989) afirma que os lateritos mineralizados em ETR podem constituir a maior fonte de TR do mundo.

O beneficiamento desses minérios, para viabilizar a extração econômica das TR, irá requerer inovações técnicas. Como já foi dito, é um desafio para os centros e institutos de pesquisa e para as empresas detentoras dos direitos minerários dessas áreas.

2.3.2.2 - "Placers" Marinhos

Ocorrem em vários países, como Austrália, Índia, Brasil, China, África do Sul, Indonésia, Coréia, Sri Lanka, Madagascar, Libéria etc.

Nestes depósitos, o mineral de minério das TR é a monazita, quase sempre com teores elevados de Th. Ela é apenas co-produto ou subproduto num conjunto de minerais pesados constituídos por ilmenita, sempre o mais abundante, zirconita e rutilo. A viabilidade econômica desses depósitos fica na dependência dos mercados de ilmenita e/ou do conjunto ilmenita-zirconita-rutilo.

Toda a produção brasileira de TR, 2.500t de concentrado de monazita em 1990, proveio de "placers" costeiros do Norte Fluminense e do Espírito Santo. O maior produtor mundial de monazita é a Austrália, com 7.500t em 1990.

2.3.2.3 - "Placers" Aluvionares

Este tipo de depósito é de grande importância como fonte de TR_y.

Na Malásia e Tailândia tem havido produção de xenotímio como subproduto no minério de cassiterita, que contém ainda ilmenita, zirconita e monazita.

No Brasil, o minério de cassiterita aluvionar de Pitinga (AM) contém xenotímio, prevendo-se a sua recuperação como subproduto. No rio Sapucaí, em São Gonçalo (MG), foi definido um depósito com 29.300t de monazita. A sua extração é economicamente viável como co-produto do ouro, zirconita e ilmenita. (Souza e Paixão, 1989)

2.3.2.4 - Sedimentares

Os fosforitos de origem marinha apresentam baixos teores de TR, com a particularidade de predominarem TR_y. As suas apatitas contém 110 a 1550ppm de OTR. Miriri (PE) é um bom exemplo desse tipo de ocorrência.

2.3.3 - Metamorfogênicos

Podem formar-se concentrações de TR em rochas do tipo escarnito, resultantes da intrusão de granitos ou sienitos alcalinos em calcários. Um exemplo clássico é a ocorrência de Bastnas, na Suécia, com os seguintes minerais de TR: britholita, cerita, orthita, bastnasita e lanthanita.

Não são conhecidos depósitos importantes nesse tipo de ambiente geológico.

2.4 - Tópicos de Geologia Quantitativa

À semelhança de outros bens minerais, os depósitos/concentrações de TR podem ser agrupados em três grandes categorias: magmatogênicos, sedimentogênicos e metamorfogênicos.

À categoria magmatogênica pertencem os tipos alcalino-carbonatíticos, hidrotermais plutogênicos, pegmatíticos, metassomáticos e de veios.

Na categoria sedimentogênica incluem-se os seguintes tipos: crostas de alteração/enriquecimento supergênico, "placers" marinhos, "placers" aluvionares e fosforitos.

A categoria metamorfogênica compreende concentrações de TR em litologias dos tipos: escarnitos, metaconglomerados e gnaisses.

As reservas e produção de OTR dos diversos tipos de jazidas em atividades são apresentadas na Tabela 6.

2.5 - Metodologia Prospectiva

Com base na geologia quantitativa e na geoquímica das TR, podemos dizer que a prospecção de fontes de TR confunde-se com as metodologias que visem a localização e estudo: i) de complexos alcalino-carbonatíticos; ii) de plútons tardios graníticos fortemente fracionados, litologias caracterizadas pela presença abundante de voláteis durante a

sua cristalização; iii) dos hidrotermalitos e alteritos com enriquecimento residual, deles resultantes; iv) de "placers" fluviais e de praia; v) de depósitos de outros bens minerais com teores significativos de TR, como, por exemplo, os minérios de apatita, cassiterita, fluorita, titânio, nióbio-tântalo e urânio.

2.5.1 - Alvos e seus Parâmetros Definidores

Indicam-se os ambientes geológicos favoráveis à existência de depósitos significativos de ETR.

Complexos carbonatíticos. Tendem a localizar-se em regiões estáveis da crosta continental, em escudos, crátons e áreas pericratônicas. Os carbonatitos são feições essencialmente continentais e situam-se, com frequência, em:

- faixas condicionadas por sistemas de falhas;
- áreas de grandes rebaixamentos crustais do tipo rift;
- regiões de distensão circundando, por exemplo, grande bacias ou escarpas de falha regressivas e
- zonas de intersecção de sistemas de falhas.

As manifestações carbonatíticas parecem necessitar de ambiente continental, com crosta espessa e bem evoluída, cortada por estruturas de grandes proporções que atinjam o manto. (Biondi, 1986) Smirnov (1987) também exprime esta idéia referindo-se a depósitos de apatita associados a carbonatitos.

Essas considerações referem-se aos complexos carbonatíticos de tipo central. Ainda pouco se sabe sobre os parâmetros condicionantes ou geradores dos carbonatitos do tipo linear. Estudos desenvolvidos por pesquisadores russos, na Sibéria, neste tipo de carbonatitos, apontam para o mesmo modelo de condicionamento tectônico (Lapin, 1987). No carbonatito linear de Angico dos Dias (BA), porém, não são referidos falhamentos profundos. (Silva, 1988)

Os complexos alcalino-carbonatíticos brasileiros representam um bom potencial para TR.

São conhecidos três importantes depósitos com bons teores e reservas: Catalão-GO (Córrego do Garimpo), Araxá-MG (Área Zero) e Poços de Caldas - MG (Morro do Ferro). A complexidade e/ou granulometria dos seus minérios não têm permitido, até hoje, o seu aproveitamento econômico.

Outros, como Mato Preto-PR, ainda pouco estudados, revelam grande potencial, mas na maioria dos complexos carbonatíticos brasileiros não foram efetuados estudos de avaliação para defini-los como possíveis fontes de terras-raras. É exceção o complexo da Barra do Rio Itaipapuã, na margem do Paraná do Rio Ribeira, onde a MINEROPAR, empresa estadual, fez um completo trabalho de pré-avaliação.

Granitos de metais raros são granitos com características geoquímicas específicas, aos quais se associam mineralizações de Sn, Nb, Ta, TR, W, Mo, Be, Li, Th, U. Mineralizações hipogênicas de Nb, Ta e ETR e concentrações secundárias destes elementos ocorrem em numerosas províncias metalogenéticas como, por exemplo, na Nigéria, Mongólia-Transbaikalia, Arábia Saudita e Complexo de Bushveld (Rep. da África do Sul). Os depósitos de metais raros do sul da China, sudoeste da Tailândia e do Maciço Central da França estão associados a granitos pós-orogênicos. (Pollard, 1986) O mesmo autor especifica que:

- a) os granitos associados a mineralizações de metais raros variam de pequenos "stocks", de poucos quilômetros quadrados, até plútons de escala batolítica, com várias centenas de quilômetros quadrados;
- b) apesar da diversidade de tipos de magmas, ambientes tectônicos e modo de intrusão, as mineralizações de Nb, Ta e ETR estão completamente limitadas, no último estágio, a granitos de características geoquímicas específicas;
- c) a intrusão e cristalização de granitos de metais raros resulta na formação de um fluido magmático rico em água que reage com o granito previamente solidificado, dando origem a alterações profundas;

- d) a seqüência de modificações inclui, geralmente, a alteração feldspática precoce (metassomatismo K e Na), seguindo-se greisenização e a alteração feldspática tardia, o que se traduz em K-feldspatização nos níveis mais profundos, albitização nos intermediários e greisenização nos superiores;
- e) o enriquecimento em ETR é característico de granitos peralcalinos, e podem formar-se xenotímio, monazita, fergusonita, bastnasita e synchisita na zona de albitização e
- f) nos granitos peraluminosos, a máxima concentração de ETR ocorre por vezes na zona K-feldspatizada e decresce para a zona albitizada.

Taylor e Fryer, citados por Pollard (1986), referem que o comportamento dos ETR no decorrer das alterações pós-magmáticas depende, em grande parte, da natureza da fase fluida: fluidos ricos em Cl originam enriquecimento em ETRL; ricos em F e/ou CO₂ dão origem a maior presença de ETRP.

Um bom exemplo no Brasil é dado pelo apogranito do plúton Madeira na região de Pitinga (AM). A mineralização de TRy (xenotímio) associa-se à cassiterita, zirconita, columbita-tantalita e pirocloro. O xenotímio, juntamente com a zirconita, columbo-tantalita e pirocloro podem ser subprodutos da produção de cassiterita.

Alvos importantes no Brasil são os "placers" marinhos e aluvionares. Toda a produção brasileira de TR provém dos "placers" marinhos dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. Os "placers" fluviais do Rio Sapucaí, na região de São Gonçalo (MG), constituem depósitos de ouro em que a monazita, juntamente com outros minerais, pode ser extraída como subproduto. A possibilidade de existirem depósitos de TR, pequenos e médios, neste ambiente geológico, é grande.

Outros tipos de ocorrências de TR ainda por estudar são os que se relacionam à sua presença, por vezes com teores consideráveis, em minérios de outros elementos, tais como fosfatos, fluorita, titânio e nióbio. Apenas a Companhia Vale do Rio Doce desenvolveu estudo completo para a recuperação de ETR como subproduto do minério de titânio de

Tapira, tendo comprovado a sua viabilidade. O minério de anatásio de Tapira contém 1% de OTR.

As apatitas, quando associadas a rochas alcalino-carbonatíticas, chegam a apresentar teores de até 12% de OTR. (Vlasov, 1966) Assim, os minérios de apatita podem constituir depósitos de TR.

A recuperação de ETR das apatitas, durante a produção de ácido fosfórico, é tecnicamente possível. (Habashi e Awandalla, 1988; Habashi et al., 1986; Neary e Highley, 1984) A recuperação em escala comercial foi conseguida na Rússia (Roskill, 1984; Kosynkin et al, 1992) Polônia (Brill, 1964 e Roskill, 1984) e Finlândia (Lounamaa et al., 1980), utilizando o minério apatítico da península de Kola, que contém cerca de 0,85% de OTR. Com base neste valor, estima-se que os recursos do complexo carbonatítico de Khibiny totalizem 9 milhões de toneladas de OTR. (Neary e Highley, 1984) A recuperação comercial parece estar limitada atualmente à Rússia, mas há considerável interesse pelo processo em outros países. Os dados disponíveis sugerem que os minérios apatíticos brasileiros de Catalão e Araxá apresentem teores variando de 1 a 1,5% de OTR (dados pessoais e fornecidos pela empresa ARAFÉRTIL).

Os minérios de fluorita também são uma fonte potencial de TR. Podem conter teores elevados, tanto de TR_{Ce} como de TRy. Em Mato Preto as fluoritas roxas contêm entre 0,25 e 0,67% de TR. (Santos, 1988) Na jazida de fluorita de Yukon, no Canadá, o minério apresenta 1,37% de lantanídeos. (RIC News, jun. 1993)

2.5.2 - Métodos de Prospecção

A prospecção e pesquisa de depósitos de TR deve compreender:

- a) o estudo detalhado dos complexos alcalino-carbonatíticos, com especial enfoque para os processos tardi e pós-magmáticos (metassomáticos, hidrotermais) e de alteração/concentração residuais, tanto morfoclimáticos (solos formados em bacias fechadas, freqüentes nas comuns estruturas anelares dos complexos carbonatíticos), quanto morfogravimétricos (depósitos de

sopê de escarpas, tálus, quase sempre presentes nos "stocks" ou *plugs* carbonatíticas);

- b) a identificação e posterior estudo de granitos de metais raros para localização/definição de concentrações de minerais de TR como o xenotímio e monazita, associados a outros minerais pesados;
- c) o estudo de argilas resultantes de granitos, para identificação de depósitos do tipo iônico e
- d) o estudo de "placers" marinhos e aluvionares resultantes da erosão de formações geológicas concentradoras de minerais de TR como, por exemplo:
 - formação Barreiras, no Brasil, que funciona, com frequência, como coletor intermediário;
 - complexos alcalino-carbonatíticos;
 - granitos de metais raros e
 - campos pegmatíticos

A prospecção de depósitos de TR deve basear-se no conhecimento geológico e nas especificidades físicas e geoquímicas dos minerais de TR. Os seus depósitos e o meio geológico em que se situam normalmente dão boa resposta aos sensores remotos.

Na fase "regional", a metodologia prospectiva deve apoiar-se principalmente em:

- a) *sensoreamento remoto*:
 - interpretação de imagens de satélite, de radar e de fotografias aéreas estereoscópicas
- b) *aerogeofísica*:
 - radiometria e magnetometria.
- c) *geoquímica regional*:
 - sedimentos de corrente

- solos

A interpretação de imagens de satélite, radar e estereogramas deve basear-se em parâmetros geomorfológicos e estruturais, mais eficazes na localização de complexos alcalino-carbonatíticos quando conjugados com dados de aerogeofísica.

As concentrações de minerais de terras-raras dão, com frequência, boa resposta à gamaespectrometria, essencialmente no canal do Th. A radiometria conjugada com a magnetometria é muito eficaz para a localização de complexos carbonatíticos, aflorantes ou subaflorantes.

A geoquímica regional pode dar boa orientação na localização de rochas carbonatíticas de granitos de metais raros, mesmo não aflorantes, e de bens minerais a eles associados. Os sedimentos ativos de corrente e os concentrados de fundo de bateia são ótimos indicadores de mineralizações de TR, por elas próprias ou, indiretamente, pela sua associação comum a outros elementos químicos, como Ba, Sr, Th, Nb, Ta, Zr, P, F. A monazita, por exemplo, é um mineral resistente ao intemperismo e ao transporte.

Selecionada uma área, a radiometria de superfície e a geoquímica de solos e/ou rocha, associadas ao mapeamento geológico de semidetalhe e à interpretação geológico-estrutural, são metodologias apropriadas para a delimitação das zonas de maior interesse prospectivo, sobre as quais deverão incidir os trabalhos subseqüentes para definição e/ou avaliação das ocorrências detectadas.

No Canadá foi desenvolvido um método geoquímico que detecta TR por simples ensaios cromatográficos com papéis Arzenazo. (Rose, 1976) O ensaio pode ser executado em alguns minutos no próprio local de coleta das amostras. Na ausência de elementos perturbadores, detecta teores da ordem de 50 a 100ppm. O limite de sensibilidade fica entre 1000 e 5000ppm quando houver interferência de muitos elementos perturbadores. É um método que se reveste de grande interesse na prospecção de ocorrências de terras-raras.

Essa seqüência de trabalhos de prospecção serve para identificar, selecionar e delimitar alvos. Segue-se a metodologia normal a que se recorre habitualmente na prospecção detalhada e na avaliação de uma ocorrência mineral, segundo o esquema:

- mapeamento geológico-estrutural de detalhe;
- levantamento radiométrico e geoquímico;
- rede de amostragem superficial;
- abertura, mapeamento e amostragem de poços e/ou trincheiras; análises petrográficas, mineralógicas e químicas;
- síntese de interpretação dos dados para definição conceitual da ocorrência;
- definição da paragenese mineral e de co-produtos ou subprodutos de interesse econômico;
- definição da distribuição das TR no(s) mineral(is) e do(s) mineral(is) no minério e
- estabelecimento de um modelo geológico;

Se os resultados forem positivos, os próximos passos serão:

- execução de furos de sonda e/ou galerias;
- realização de ensaios de beneficiamento/extração;
- avaliação de reservas e
- definição de viabilidade econômica do depósito.

3. JAZIDAS, DEPÓSITOS E PROSPECTOS DE TERRAS-RARAS NO BRASIL

As ocorrências de TR no Brasil são numerosas, (Figura 2) e as reservas geológicas, importantes. Porém, apenas os "placers" marinhos estão em lavra, e as suas reservas entraram em fase de exaustão. Três depósitos merecem uma referência especial pelas suas reservas e teores: Morro do Ferro, no planalto de Poços de Caldas (MG); Córrego do Garimpo, no domo de Catalão (GO); Área Zero, no complexo carbonatítico de Araxá (MG). As reservas de TR contidas nesses depósitos totalizam 3,26 milhões de toneladas, com teores de 3,9% de OTR no Morro do Ferro, 10% no Córrego do Garimpo e 6,3% na Área Zero.

Os seus minérios têm-se revelado de difícil aproveitamento, pela complexidade da mineralogia, abundância de argilo-minerais e silicificação intensa, no caso de Catalão.

Essas reservas aumentam substancialmente quando se consideram também os ETR associados a outros bens minerais, com teores que oscilam entre 1 e 2%, o que deixa em aberto a sua possível recuperação como subproduto. É o caso dos depósitos de anatásio de Tapira e Catalão, dos minérios de apatita e de nióbio de Araxá e de Catalão, de fluorita de Mato Preto, de cassiterita em Pitinga e de ouro de São Gonçalo do Sapucaí. Em Tapira serão recuperadas TR como subproduto do anatásio, quando se iniciar o processo industrial de produção de titânio.

As reservas em exploração no Brasil representam cerca de 35.000t de OTR contidos. Correspondem aos "placers" aluvionares marinhos, com monazita, situados na zona litoral dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia.

3.1 - "Placers" Marinhos

Os depósitos de minerais pesados do litoral brasileiro são dos seguintes tipos: depósitos de praias atuais em pequenos bolsões (teor > 30%); depósitos de paleopraias (teor > 10%); extensas concentrações formadas por dunas eólicas (teor < 10%). (Vanuzzi et al., 1984)

Considerando depósitos com teores de minerais pesados (MP) acima de 5%, o estado do Rio de Janeiro lidera as reservas de monazita (70,5%), seguindo-se a Bahia (15%) e o Espírito Santo (14,5%). (Tabela 7)

As "areias pesadas" do litoral brasileiro são uma associação mineralógica de ilmenita (42 a 95%), zirconita (3 a 24%), monazita (0,55 a 18,8%), rutilo (0,1 a 4,2%) e outros, onde a ilmenita é sempre o mineral predominante. A concentração de pesados nos minérios brutos oscila entre 1,1 e 23,3, com um valor médio entre 15 a 20%. (Tabela 7)

O minério lavrado é concentrado nas proximidades das jazidas por separação hidrogravimétrica e o "concentrado pesado" é beneficiado na usina da NUCLEMON em Buena-RJ (UPRA). O rejeito desta operação é usado na recomposição do solo lavrado. Na UPRA, por separações eletromagnéticas e gravimétricas, os minerais são concentrados a teores de 90 - 95%. Estes concentrados, com exceção da ilmenita, que depois de purificada é comercializada diretamente, são enviados à Usina de Santo Amaro (USAM), em São Paulo.

3.1.1 - Estado do Rio de Janeiro: Norte e Sul de Buena, Delta do Paraíba

Os depósitos de monazita da região de Buena estendem-se por 18km, desde a vila de Guaxindiba até à vila de Itabapoana. Formam um cordão (restinga) contínuo, paralelo à linha de praia, variando a sua largura de 50 a 100m. Têm expressão topográfica com cotas de até 7m, ora afastando-se, ora aproximando-se da linha de praia atual. No início da metade norte, a Formação Barreiras avança para o mar, formando escarpas vivas, em cujo sopé pode-se observar o processo de acumulação. (Vanuzzi et al.,

1984) A Formação Barreiras desempenha o papel de agente pré-concentrador (coletor intermediário).

A mineralização apresenta-se sob a forma de lentes com espessuras de 0,1 a 0,3m e com até 60% de minerais pesados (ilmenita, óxidos de ferro, zirconita, rutilo, monazita, silimanita e espinélio). Os minerais pesados recuperados são: ilmenita/pseudo-rutilo (47 - 57% de TiO_2); zirconita (60 - 66% de Zr, HfO_2); monazita (60 - 71% de TR_2O_3) e rutilo (86 - 98% de TiO_2). (Vanuzzi, 1984) Os teores, reservas e abundância relativa dos minerais de minério são indicados na Tabela 7.

No delta do rio Paraíba do Sul, a estrutura dos depósitos de minerais pesados é mais complexa. Há intergradação faciológica intensa de aluviões, sedimentos de brejos, lagoas e cordões litorâneos. As concentrações de minerais pesados ocorrem sob a forma de finas lentes que se escalonam desde a superfície até profundidades de 4 - 5m. A assembléia característica de minerais pesados na região é de rochas ígneas ácidas (apatita, biotita, hornblenda, magnetita, monazita, esfênio, turmalina e zirconita) e de rochas ígneas básicas (anatásio, augita, brookita, cromita, hiperstênio, ilmenita, leucocênio, magnetita, olivina, rutilo, espinélio e zirconita). (Vanuzzi, 1984)

Os minerais de minério são ilmenita (60%), zirconita (5 - 10%), monazita (3 - 4%) e rutilo (1%).

3.1.2 - Espírito Santo: Guarapari, Boa Vista, Rio Saí, Linhares

O litoral do Espírito Santo caracteriza-se pelos altos teores de monazita no concentrado de minerais pesados, sempre em torno de 20%, com situações diferentes de deposição/concentração.

Em Boa Vista e Guarapari, os depósitos de minerais pesados localizam-se em cordões litorais regressivos, formados no sopé dos sedimentos da Formação Barreiras, paralelos à linha da costa. (Vanuzzi et al., 1984)

O depósito de Boa Vista está praticamente exaurido. Formou-se numa enseada com 2km de extensão e 150m de largura máxima e apresentava excelente teor de monazita na fração pesada. O retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras originou duas faixas: uma, mais rica, próxima ao sopé daquela Formação (com até 40% de minerais pesados e 0 a 6m de profundidade), e outra, mais pobre, próxima à praia atual. (Vanuzzi et al, 1984)

Em Guarapari formaram-se dois corpos minerais: Praia de Ypiranga com 4km de extensão e 40 - 50m de largura, e enseada de Ubaia, com igual extensão, porém mais estreita. Ambos os corpos continham grande tonelagem de minerais pesados ricos em monazita, estando praticamente exauridos. (Vanuzzi et al, 1984)

No litoral do estado de Espírito Santo são ainda referidos dois depósitos: Rio Saí e Linhares.

O de Rio Saí apresenta bons teores de minerais pesados e de monazita, ao contrário de Linhares, que é relativamente pobre de minerais pesados (6,47%) com elevado percentual de ilmenita (95,27%). (Tabela 17)

Vanuzzi et al. (1984) referem a existência, no extremo sul do estado do Espírito Santo, de depósitos vinculados às areias litorâneas de deposição recente: Saco dos Caçoes, Caculagem e Mãe-Bá. Essas ocorrências relacionam-se à deposição atual de sedimentos marinhos, já consolidados, na zona de pós-praia no Saco dos Caçoes; e na zona de espraiamento, nos outros dois. "Não contêm grandes quantidades de minerais pesados, sendo porém passíveis de aproveitamento através de lavra semimecanizada ou manual, uma vez que as lentes depositadas no intervalo de maré alta devem ser retiradas no período da maré baixa". (Vanuzzi et al, 1984)

3.1.3 - Bahia: Cumuruxatiba, Joacema, Alcobaça, Belmonte

No litoral sul do estado da Bahia, desde Porto Seguro (16°25' lat. S), são conhecidas ocorrências de areias monazíticas. Muitos depósitos

foram completamente exauridos e outros inviabilizados por lavras predatórias, desordenadas e intensivas. (Maciel e Cruz, 1973)

A mais conhecida dessas jazidas é a de Cumuruxatiba, situada entre a ponta de Corurubaú e a foz do rio Jucuruçu (Vila de Prado). Em 1886, o inglês John Gordon estabeleceu-se no local da jazida de Cumuruxatiba. Foi aqui que teve início a exploração de areias monazíticas no Brasil, em 1987. Constitui um depósito atual com acumulação de minerais pesados na zona de espraiamento, dado que as ondas atingem o sopé da Formação Barreiras, e apresenta os maiores teores de monazita entre todos os depósitos de "placers" marinhos do Brasil. Segundo Vanuzzi et al. (1984), a praia tem, no máximo, 20m de largura, eventualmente com mais 10 a 20m de berma. Não existe antepraia superior nem pós-praia, e a espessura da camada de areia varia de 0 a 2m, numa extensão de cerca de 10km. "Na composição do concentrado pesado predomina hoje a ilmenita (70%) devido à lavra intensa de monazita desenvolvida até alguns anos atrás. Por sua composição química (TiO_2 , V_2O_5 e Cr_2O_3), esta ilmenita (pseudo-rutilo) é considerada uma das melhores do Brasil para a produção de dióxido de titânio. Os teores de TiO_2 (altíssimos) variam de 58 a 60%". (Vanuzzi et al, 1984) As reservas e teores são indicados na Tabela 7.

A cerca de 20km para sul de Cumuruxatiba, a partir da desembocadura do rio Jucuruçu, existe extensa formação de cordões litorais regressivos constituídos por uma série de cristas arenosas separadas por brejos e manguezais, com até 300m de largura no local Ponta de Guaratiba, onde, numa extensão de 6km, há "uma excelente concentração de minerais pesados" (Vanuzzi et al, 1984) como pode constatar-se na Tabela 7 (Alcobaça).

Ao sul de Alcobaça, esses cordões litorais, cuja formação deve ser relacionada à desembocadura do rio Itanhem (ou Alcobaça), atingem a sua largura máxima, 10km, no local conhecido por Ponta da Baleia, a 15km ENE de Caravelas. O depósito de Alcobaça apresenta bons teores e reservas razoáveis. (Tabela 7)

Nestes dois depósitos, as "camadas são constituídas por lâminas regulares mergulhando suavemente em direção ao continente, e a

mineralização está sempre na parte da crista contrária ao mar. A mineralização ocorre até uma profundidade de 4,5 - 5,0m sempre em lentes delgadas de 0,20 - 0,30m, porém em grande número. /.../ o teor de TiO_2 na ilmenita é o mais alto encontrado no Brasil (61%), permitindo sua utilização na produção de dióxido de titânio por cloração ao invés de sulfatação". (Vanuzzi et al. 1984)

Na região de Belmonte, ao norte dos anteriores depósitos, no delta do rio Jequitinhonha, foi medida uma reserva de 3.600t de monazita. O contexto geológico é semelhante ao da região situada entre a foz do rio Jucuruçu e Caravelas: cordões litorais regressivos, formando cristas arenosas, separadas por brejos e manguezais, podendo atingir uma largura total de até 10km. Os teores são baixos, tanto para o somatório de minerais pesados, quanto de monazita. A proporção de ilmenita nos minerais pesadas é elevadíssima, como se pode constatar na Tabela 7.

3.1.4 - Ceará: Majorlândia, Beberibe, Paracurú

No litoral do estado do Ceará também foram localizadas concentrações de minerais pesados em Majorlândia, Beberibe e Paracuru. (Fonte: SAMITRI)

Diferem dos depósitos do sul do estado da Bahia, do Espírito Santo e do Norte Fluminense pela baixa proporção de minerais pesados (1,10 - 1,87%), pelos altos teores de ilmenita (79,92 - 84,91%), baixos a médios de monazita (0,55 - 4,12%) e altos de zirconita (13,18-15- 18%) nesta fração. (Tabela 7)

Pouco se sabe sobre as características geológicas desses depósitos, nos quais a monazita só poderá ser extraída se for viabilizada a exploração da ilmenita/zirconita.

3.1.5 - Piauí: Luiz Correia

É uma ocorrência com características semelhantes às dos "placers" marinhos do Ceará, embora com menor proporção de minerais pesados e teores mais elevados de zirconita. (Tabela 7)

3.1.6 - Outras Ocorrências

Podem ser referidas ainda outras ocorrências de menor interesse ou ainda mal estudadas.

A de Salinópolis (PA) não parece revelar qualquer significado econômico. (Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1985)

As regiões de São Luiz do Maranhão/Bacia de Barreirinhas foram muito pouco estudadas no que diz respeito às mineralizações de TR. Contudo, em trabalho da Divisão de Fomento do DNPM, é referido que, naquelas regiões, a presença de, talvez, o maior depósito de monazita do Brasil. Na região de Tutóia (MA), um reconhecimento aerocintilométrico, utilizando helicóptero e linhas de voo perpendiculares à costa, cada uma com uma extensão média de 10km, permitiu identificar 67 anomalias radiométricas, certamente devidas à monazita. (Tabela 8) (Lápido-Loureiro, 1985)

Em 1967 foi feito um voo de helicóptero entre Rio de Janeiro e Fortaleza, ao longo do litoral, a uma altitude de cerca de 100m, com registro radiométrico contínuo. Foram assinaladas 101 anomalias: 61 no percurso Rio-Salvador, a maioria coincidindo com ocorrências de monazita já conhecidas, e 40 no itinerário Salvador-Fortaleza. (Tabela 8) O voo efetuou-se sobre a praia, próximo ao limite das dunas, a uma distância do mar da ordem de 200-300m que aumentava quando havia restingas e zonas de inundação, mas nunca ultrapassando os 1000m. Tratando-se de uma só linha de voo, localizada arbitrariamente, os dados obtidos, sintetizados na Tabela 9, devem ser encarados com cuidado. (Lápido-Loureiro, 1985)

Ao sul de Natal (RN), estudos da Du Pont, realizados em 1964, revelaram importantes concentrações de areias ilmeníticas, contendo alguma monazita, nas proximidades de Tibau, Cunhaú e Estrelas. (Maciel e Cruz, 1973)

No litoral paranaense, na região de Paranaguá (PR), ocorrem areias ilmeníticas, com zirconita, mas pobres de monazita. A ilmenita apresenta características adequadas à indústria de pigmentos. (informação da MINEROPAR)

3.2 - "Placers" Fluviais e Depósitos Colúvio-Eluvionares

No Brasil, os "placers" fluviais têm sido pouco estudados como fontes de minerais de TR. No entanto, o seu potencial é grande, se forem encarados como depósitos poliminerálicos em que a monazita e xenotímio poderão ser co-produtos ou subprodutos de outros bens minerais, como a cassiterita, zirconita, columbo-tantalita, ouro nativo, ilmenita e rutilo. As redes de drenagem de granitos de metais raros, de complexos alcalinos e de certas áreas da formação Barreiras, por exemplo, são regiões de grande interesse prospectivo.

3.2.1 - São Gonçalo/Rio Sapucaí (MG)

Os "placers" do rio Sapucaí na região dos municípios de Turvolândia, Cordislândia, São Gonçalo do Sapucaí, Careagu, Silvianópolis, São Sebastião da Bela Vista e Pouso Alegre constituem uma jazida de ouro, ilmenita, zirconita e monazita, minerais que estão contidos em 27,6 milhões de m³ de minério, composto por camadas de cascalho e areia dos aluviões atuais (leito) e recentes (várzea). "No leito não existe estéril, e a espessura média da camada econômica é da ordem de 3,5m. Nas várzeas, considerando-se os canais econômicos, a espessura média do aluvião é de cerca de 6,7m, dos quais 3,8m são de estéril (basicamente argilas) e 2,9m são de camada econômica. As reservas totais do aluvião pesquisado (medidas + indicadas) compreendem cerca de 34,7 milhões de m³, sendo 27,6 milhões de m³ de cascalho e 7,1 milhões de estéril". (Souza e Paixão, 1989)

Foram realizados pela empresa detentora da área estudos pormenorizados de diagnóstico ambiental da região, para correta e fundamentada avaliação dos impactos que a implantação do projeto poderia provocar e para proposição de medidas mitigadoras. As reservas, em termos de minerais econômicos, são:

ROM.....	52.116.000 (100,00%)
Ilmenita.....	631.800 (85,29%)
Zirconita.....	70.700 (10,75%)
Monazita.....	29.300 (3,95%)
Ouro.....	1.173 (0,00016%)

A monazita contém 66,4% de R₂O₃ (TR₂O₃ + ThO₂), com 6,3% de ThO₂. (Tabela 2)

3.2.2 - Pitinga

A mina de Pitinga situa-se na porção norte do Cráton Amazônico. A região caracteriza-se pela existência de rochas do Proterozóico Inferior a Médio, formadas em ambiente tectônico estável, intracratônico, com marcada evolução anarogênica. As mineralizações estaníferas estão ligadas a dois corpos graníticos, Água Boa e Madeira, com eixos maiores de 10,7 e 21,5km, respectivamente, alongados segundo a direção N 50° E. "Constituem um complexo intrusivo polifásico, com estágios distintos de injeção e cristalização de magma, envolvendo importantes processos de transformações tardi/pós-magmáticas, especialmente albitização e greisenização/.../A mineralização é controlada pela fácies apogranito, que constitui uma unidade de granito albitizado com disseminações poliminerálicas de cassiterita, zircão, columbita-tantalita, pirocloro e xenotíma. Associam-se teores anômalos de TR, Hf, Pb, Bi, Th e F". (Koury e Antonietto Jr., 1988)

Os "placers" são a principal fonte de minerais pesados, entre os quais se inclui o xenotímio. Situam-se nas proximidades de suas fontes primárias. Nos aluviões, com minerais pesados, distinguem-se duas seqüências estratigráficas principais, denominadas pretérita e subatual. "A primeira está preservada nas encostas dos vales e se apresenta recoberta

por espessas coberturas colúvias. A segunda ocorre preenchendo os vales recentes e mostra as bordas recobertas por massas colúvias". (Koury e Antonietto Jr., 1988)

As mineralizações primárias que deram origem aos "placers" são de dois tipos:

- no batólito Água Boa: assembléia de veios de greisen formados por mica litífera, quartzo, cassiterita, topázio, columbita-tantalita e, encaixados nos veios de greisen, ocorrem veios de quartzo/cassiterita e de cassiterita maciça e
- no apogranito do plúton Madeira: albita (20-60%), quartzo (15-30%), feldspatos potássicos (15 - 30%) e, como minerais acessórios, fluorita, moscovita, cassiterita, zirconita, columbita-tantalita, pirocloro, xenotímio, sulfetos e óxidos de ferro.

Nos aluviões resultantes do granito Madeira há quantidades expressivas de cassiterita, zirconita, columbita-tantalita, pirocloro e xenotímio.

As reservas estimadas de TR contidas em xenotímio são de 20.000t de OTR.

Não se dispõe de dados de mineralogia quantitativa e/ou teores químicos de ETR no minério. Apenas informações sobre um pré-concentrado na área PF 11 do igarapé Jabuti, que apresentou a seguinte composição mineralógica: cassiterita (32%), zirconita (30%), topázio (3%), columbita-tantalita (2%), magnetita (1,8%), xenotímio (0,2%) e quartzo (31%). (CPRM - informação pessoal)

As características químicas do xenotímio de Pitinga, comparando-se com as de outras ocorrências, são apresentadas na Tabela 10.

Não se possuem informações sobre mineralizações de terras-raras em outras importantes províncias estaníferas do Brasil. São ambientes prospectivos que deveriam merecer toda a atenção. Nele o xenotímio será sempre um subproduto e se, na extração da cassiterita, não se considerar

a sua presença, estará sendo feita uma lavra predatória, pois dificilmente ele poderá ser recuperado mais tarde. Os granitos: Maloquinha, do sul do Pará; "Granitos do tipo Nigeriano", da Serra da Província de Teles Pires, em Rondônia; Surucucus, de Roraima, e os seus depósitos eluvionares e aluvionares devem ser encarados nesse contexto.

3.2.3 - Mineração Oriente Novo (RO)

Na região central de Rondônia, na área da Mineração Oriente Novo, limitada pelos meridianos 444 000 e 588 000 E e paralelos 9 004 000 e 8 900 000 N, são conhecidos vários distritos mineiros em que a monazita e o xenotímio estão presentes.

Foram identificadas duas seqüências sedimentares quaternárias com cassiterita. "A sedimentação destas duas unidades foi realizada sob condições climáticas semi-áridas através de grande movimento de massas. Este transporte permitiu o enriquecimento da cassiterita para formar depósito do tipo "placer", fanglomeráticos. A 1ª seqüência foi seguida por uma importante fase de lateritização e entalhamento, por rios anastomosados, dos sedimentos antigos. Isto possibilitou desenvolvimento de "placers" residuais-elutricionais e aluvionares, correlacionados ao estágio interglacial Sangamon. A transgressão Flandriana (Pleistoceno-Holoceno) foi seguida por uma profunda incisão acompanhada por retrabalhamento dos "placers" pré-existent e redeposição de sedimentos, formando depósitos estaníferos de baixo teor e de pouca importância econômica. Os principais depósitos secundários de estanho são representados por: "placers" aluviais associados a rios anastomosados, colúviais, colúviais-eluviais e aluviais, todos associados às fácies mais propícias à acumulação de estanho das seqüências sedimentares quaternárias. (Bettencourt et al, 1988)

As ocorrências primárias de Sn, W, Nb, F, TR, topázio e berilo relacionam-se a granitos estaníferos ("Granitos Rondonianos"). Os corpos mineralizados são veios, "stockworks" de filetes, corpos de greisen, pipes brechados diapíricos e corpos pegmatíticos. Os depósitos do tipo "placer" resultam do seu intemperismo e denudação.

Os minerais do minério de cassiterita são: quartzo, topázio, cassiterita, zirconita, monazita, ilmenita, ilmeno-magnetita e, em pequenas quantidades, rutilo, tantalita-columbita, berilo, feldspatos, limonita, turmalina, anatásio, amazonita, xenotímio, granada, leucocênio.

"Os minerais principais, objeto de lavra e de interesse econômico atual, são a cassiterita e columbo-tantalita, estando estes enriquecidos nos rejeitos magnéticos resultantes da separação da cassiterita. Junto à columbita-tantalita, outros minerais de interesse econômico, tais como, zircão, monazita, xenotima, ilmenita e rutilo se concentram nos rejeitos magnéticos, os quais podem ser comercializados, dependendo das condições de mercado". (Bettencourt et al., 1988)

Na Tabela 11 apresentam-se os teores de Sn, Ti, Ta, Nb, Zr e TR de pré-concentrados e rejeitos de separadoras dos principais distritos mineiros da Mineração Oriente Novo.

3.2.4 - Região de São João del Rei

A região de São João del Rei mostra bom potencial para a existência de depósitos eluvionares de xenotímio e/ou monazita, resultantes do intemperismo e enriquecimento residual de pegmatitos e talvez de gnaisses.

Paulo Rolff (1948) já afirmava naquela data que o futuro da região, como produtora de areias monazíticas, fica na dependência do estudo detalhado dos seus aluviões.

Djalma Guimarães (1956a) apresenta a composição mineralógica de concentrados na região de São João del Rei correspondentes a Vargem Grande, Ribeirão Santo Antônio e Córrego Laginha. (Tabelas 12, 13 e 14) Ressaltam, no concentrado de Vargem Grande, (Tabela 12) os altos teores de xenotímio e de monazita em todas as frações acima de 8 malhas.

3.2.5 - Outras Ocorrências Mal Definidas

Há referências à presença de mineralizações de TR nas bacias hidrográficas do rio das Almas, na região de Peixe, estado de Tocantins e do rio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro.

O complexo alcalino de Peixe, no limite dos municípios de Peixe e Paranã, alongado N-S, com cerca de 30km de comprimento e largura variando entre 5 e 8km, é constituído essencialmente por rochas alcalinas, com aspecto de gnaisses fitados e bandados, predominando os litchfielditos. "Assinalam-se ainda pegmatitos alcalinos diversos, mineralizados a zircão, monazita, alanita, ilmenita, pirocloro, titânio-tântalo niobatos e coríndon". (Iwanuch et al., 1984)

Os micaxistos (Grupo Serra da Mesa) e os gnaisses situados ao Sudeste e Este do complexo de Peixe apresentam bolsões pegmatíticos de monazita e/ou allanita. Prolongam-se irregular e descontinuamente segundo uma linha N-S, nas proximidades do complexo alcalino, com cerca de 15km de extensão. Ao sul predomina a monazita e a norte, a allanita.

Esses minerais e os que ocorrem no interior do complexo alcalino, disseminados nos litchfieldidos (pegmatitos alcalinos e graníticos) e em depósitos colúvio-eluvionares, são carregados para a rede de drenagem. Não há dados geológicos nem estimativas de teores/reservas que permitam avaliar o interesse dessas ocorrências de monazita.

Em vários pontos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul é citada a presença de monazita associada a outros minerais pesados, como zirconita, rutilo e até ouro. Não há estudos para avaliação destas ocorrências.

3.3 - Carbonatitos/Enriquecimento Residual

As maiores reservas de TR no Brasil estão localizadas em complexos alcalino-carbonatíticos e constituem, ou depósitos bem individualizados

em que as TR são os constituintes principais, ou estão associadas a outros bens minerais, sendo então seu subproduto.

Em ambos os casos, as concentrações de TR resultaram de enriquecimento residual associado aos processos de intemperismo.

3.3.1 - Catalão I (GO)

Catalão é um complexo ultramáfico-carbonatítico de idade cretácica superior, cujas principais litologias, reveladas por sondagens, são: glimeritos e, subordinadamente, piroxenitos, peridotitos serpentinizados cortados por veios, diques, lenticulas e "stocks" de sovitos, de dimensões muito variáveis, formando um conjunto rochoso designado genericamente por silicocarbonatitos. O intemperismo é intenso em quase toda a área do complexo, podendo atingir mais de 200m.

As TR em Catalão I ocorrem formando um depósito bem individualizado, com reservas elevadas e altos teores, no local designado por Córrego do Garimpo, associadas aos minérios de apatita, anatásio e pirocloro, com teores baixos.

3.3.1.1 - Depósito do Córrego do Garimpo

A área pesquisada do Córrego do Garimpo definiu um depósito de TR com 600 x 100m em superfície. É constituído por solos residuais, com espessuras variando de alguns centímetros a poucos metros, e por uma rocha silicosa vacuolar resultante da silicificação dos carbonatitos. Rochas semelhantes, tão ou mais mineralizadas em TR, são encontradas também na área do depósito de nióbio da Mineração Catalão de Goiás, o que levanta duas hipóteses: ou o depósito do Córrego do Garimpo se prolonga em direção a esta ocorrência, ou ela representa um outro corpo de minério (silixito com monazita). Em qualquer das hipóteses, as reservas apresentadas pela METAGO devem ser aumentadas substancialmente.

Metassomatismo e hidrotermalismo são processos sempre presentes e atuantes na atividade carbonatítica, e devem ser responsáveis por

intensas mobilização e deposição/cristalização de sílica e TR. A origem da sílica poderá ser encontrada nos processos de dessilicificação das rochas silicáticas, e a formação de concentrações de ETR sobre carbonatitos pode resultar da remoção seletiva de Ca e/ou Mg de carbonatos como a calcita, dolomita e ankerita, da apatita, da fluorita e de outros minerais presentes nos carbonatitos que contenham TR na sua rede cristalina. Assim poderiam formar-se importantes concentrações de ETR e, associando a mobilização da sílica à das TR, estar-se-ia numa situação semelhante à do Córrego do Garimpo.

Os trabalhos realizados pela METAGO numa área de 1600 x 2600m, na região do Córrego do Garimpo, revelaram a existência de um depósito de TR com reservas medidas de 534.000 toneladas de minério com teor acima de 10% de $CeO_2 + La_2O_3$. As reservas de minério de TR, avaliadas em 1971 pela METAGO, são mostradas na Tabela 15. (Carvalho, 1974)

As reservas apresentadas basearam-se nos seguintes trabalhos:

- a) 84 furos de sonda com profundidade entre 30 e 50m;
- b) 27 furos de trado;
- c) uma centena de poços;
- d) uma galeria de flanco de encosta.

A realização de sondagens mais profundas irá, certamente, aumentar substancialmente as reservas medidas, dado que todos os furos localizados no corpo mineralizado foram interrompidos em minérios com teores altos, aumentando com a profundidade. (Figura 3)

Recentemente, a GOIASFÉRTIL fez uma reavaliação das reservas geológicas utilizando métodos de geoestatística e de krigeagem, e também uma reinterpretação da morfologia do corpo mineralizado, baseando-se nos trabalhos já citados anteriormente.

Para um teor de corte de 10% de $Ce_2O_3 + La_2O_3$, as reservas geológicas são superiores a 3,5 milhões de toneladas de minério, com um teor médio de 12,56% de $CeO_2 + La_2O_3$. (Tabela 16)

Esta nova interpretação da morfologia do depósito de TR, reforçou a hipótese do corpo mineralizado continuar em profundidade com tendência, portanto, dos teores aumentarem.

Uma amostra de superfície de silexito mineralizado foi estudada recentemente na CPRM (Lápido Loureiro, 1991) com os seguintes resultados:

Análise Química (%) - SiO₂ (78,7), Al₂O₃ (nd), Fe₂O₃ (7,7), FeO (nd), MnO (<0,05), CaO (0,84), MgO (1,1), Na₂O (0,14), K₂O (<0,05), P₂O₅ (0,22), Perda ao Fogo (2,1), Umidade (0,4), TR₂O₃ (4,1), SO₃ (1,6), BaO (2,7), SrO (0,24), TiO₂ (nd).

Espectrografia Ótica de Emissão: 30 elementos (ppm) - Fe (5000), Mg (1500), Ca (5000), Ti (200), Mn (>5000), Ag (nd), As (nd), Au (nd), B (10), Ba (> 5000), Be (20), Bi (nd), Cd (nd), Co (7), Cr (50), Cu (5), La (> 1000), Mo (25), Nb (300), Ni (10), Pb (700), Sb (nd), Sc (< 5), Sn (nd), Sr (5000), Y (30), W (nd), Y (30), Zn (200), Zr (20).

Difração de raios-X - Minerais identificados: quartzo, goethita, monazita, barita, gipsita (?).

Petrografia ótica - O estudo petrográfico do silexito friável revelou uma rocha completamente alterada, de textura muito irregular, constituída predominantemente por sílica criptocristalina em agregados de minúsculos grãos, quartzo em cristais mais bem desenvolvidos em aglomerados ou preenchendo cavidades e óxido de ferro pardacento limonítico, por vezes quase opaco, ora em aglomerados, ora impregnando parcialmente um mineral de hábito acicular, podendo se tratar de gipsita, ora também impregnando material argiloso. Além desses constituintes, pode ser observada a baritina em aglomerados ou cristais isolados límpidos e transparentes, exibindo distinta clivagem. A rocha apresenta a seguinte composição mineralógica: quartzo/sílica criptocristalina (50%), óxido de ferro/minerais argilosos/gipsita (42%), baritina (8%). A monazita encontra-se capeada por sílica.

Uma amostra de silexito, com mineralização visível, foi analisada no Laboratório de Controle de Qualidade da Usina de Santo Amaro da

NUCLEMON, com os seguintes resultados: (Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1985)

- Na amostra total	
Insolúvel em H ₂ SO ₄ calc. a 900°C	70,5%
- No extrato sulfúrico	
R ₂ O ₃ (= TR ₂ O ₃ + ThO ₂)	11,7%
P ₂ O ₅	5,5%

Composição referida a 100% de R₂O₃

La ₂ O ₃	26,7	Gd ₂ O ₃	1,1
CeO ₂	49,6	Tb ₄ O ₇	0,05
Pr ₆ O ₁₁	4,4	DiO ₃	0,1
Nd ₂ O ₃	15,9	HO ₂ O ₃	>0,5
Sm ₂ O ₃	1,3	Er ₂ O ₃	>0,05
Eu ₂ O ₃	1,12	Yb ₂ O ₃	>0,05
TOTAL	98,2	Y ₂ O ₃	0,30
		TOTAL	1,70

ThO₂.....0,46

O estudo petrográfico dessa amostra realizada pelo CDTN, em Belo Horizonte, classificou-a como metassomatito, silicoso, brechado com a seguinte composição mineralógica (%): quartzo (63), goethita (20), monazita (15) e magnetita martitzada (2).

A difração de raios-X executada na CPRM, o estudo petrográfico do CDTN e Anthony Mariano confirmam a monazita como o principal mineral de TR do silexito do Córrego do Garimpo. Mais recentemente, estudos desenvolvidos pelo CETEM e Universidade Técnica de Munique confirmaram que o principal mineral de TR é a monazita, apresentando-se microcristalina e totalmente envolvida por sílica. (Neumann e Lápido Loureiro, 1993)

3.3.1.2 - As TR no Minério Fosfático

As rochas fosfáticas de Catalão, como é habitual, contêm TR. Uma pesquisa efetuada sobre a mineralogia e teores de TR nas etapas do

circuito da usina da GOIASFÉRTIL, desde o minério até ao concentrado final seguindo o fluxograma simplificado, (Figura 4) forneceu informações sobre a distribuição das TR nos diversos materiais resultantes do tratamento do minério fosfático. Os dados são sintetizados nas Tabelas 17 e 18.

A partir da sua análise, é fácil deduzir que as TR estão principalmente nas apatitas: embora a maior parte do(s) mineral(is) do grupo da gorceixita fique nos rejeitos de flutuação, o seu teor de R_2O_3 é de 0,59%, enquanto que no concentrado final, com cerca de 90% de apatita, o teor de R_2O_3 é de 1,3. (Tabela 17) (Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1985a)

As reservas de TR contidas nos 89 milhões de toneladas de minério fosfático da GOIASFÉRTIL, com teores de P_2O_5 total acima de 10%, (Carvalho, 1974) poderão atingir 712.000t de R_2O_3 , considerando um teor de 0,8% de R_2O_3 . (Tabela 17)

Na área da COPEBRÁS não se possuem dados sobre os teores de TR no seu minério apatítico. Extrapolando os valores da área contígua da GOIASFÉRTIL e considerando reservas de 70 milhões, com teor limite de 10% de P_2O_5 , as reservas de TR contidas no minério fosfático seriam de 560.000t de R_2O_3 , partindo-se da hipótese que o seu teor no minério é de 0,8% de R_2O_3 .

Na área da Mineração Bálamo, o corpo de minério de anatásio recobre um depósito de fosfato (54,5 milhões de toneladas de minério com um teor de 10,97% de P_2O_5). Não se possuem dados sobre a presença e distribuição das TR neste corpo de minério fosfático.

3.3.1.3 - As TR no Minério de Ti

Duas empresas estudaram, em áreas diferentes, o depósito de Ti de Catalão. Foram elas a Mineração Bálamo e a METAGO.

Área da Mineração Bálamo

A Mineração Bálamo Limitada/CBMM realizou trabalhos de pesquisa numa área do extremo sudeste do domo de Catalão, no local denominado

Lagoa Seca. Esses trabalhos definiram um corpo mineralizado de anatásio, com 28 milhões de toneladas e teor de 26% de TiO_2 , recoberto um depósito de fosfato de 21,5 milhões de toneladas de minério com 11% de P_2O_7 , ambos contidos no manto de intemperismo.

Essas concentrações são de origem residual. A mineralização de Ti resultou dos processos de intemperismo da rocha e da leucogenização dos minerais primários (perovskita, titano-magnetita e ilmenita) existentes nos silicocarbonatitos. O minério de Ti ocorre, em parte, sobre o minério de fosfato, isto é, aquele situa-se na parte superior do manto de alteração, e este nos horizontes inferiores. (Souza, 1982)

Os trabalhos de pesquisa constaram de: mapeamento geológico; levantamentos geofísicos (magnetometria e radiometria); levantamentos topográficos; poços de pesquisa (168) e furos de trado (9), num total de 3.947,90m lineares; furos de sonda verticais (53) com profundidades oscilando entre 29,80 e 120,82m (média 73,90m), que totalizando 3.915,57m; estudos mineralógicos; análises químicas para $CeO_2-La_2O_3-Y_2O_3$ (5.562), Nb_2O_5 (5.721), TiO_2 (5.720), P_2O_5 (5.615), CaO (5.562), Zn-Cu-Pb-V (159); estudos petrográficos. (7)^(*)

Os minérios de titânio e fosfato podem apresentar teores apreciáveis de TR, como foi verificado em amostras de furos de sonda e poços. (Tabelas 14 e 15)

A seguir é apresentada a composição mineralógica estimada (%) dos minérios de titânio e de fosfato.

- de titânio - Magnetita (26), anatásio (19,5), vermiculita (13), hematita + goethita + limonita (13), quartzo (10), ilmenita (9), gorceixita-goyazita (4), apatita (3) e perovskita (2,5)
- de fosfato - apatita (32), magnetita (25), quartzo (19), hematita + goethita + limonita (10), anatásio (4), ilmenita (4), gorceixita/goyazita + perovskita + vermiculita (6)

* Indica-se entre parênteses o n^o de análises.

Verifica-se, por exemplo, que no poço M-17, entre os níveis 880 e 890, o teor de $CeO_2 + La_2O_3 + Y_2O_3$ é de 5,66%, (Tabela 19) e no furo de sonda N-15, entre 880 e 900m, de 4,44%. (Tabela 20) O teor médio dos minérios é da ordem de 2 - 3% de OTR.

Os estudos efetuados não revelaram o tipo de associação entre o minério de Ti e as TR. Já em relação aos fosfatos, é sugerido que a apatita, liberada por alteração da rocha, seja redepositada nos níveis superiores do manto, formando fosfatos secundários complexos como goyazita, gorceixita, florencita e monazita. (Souza, 1982)

As reservas totais do corpo de minério cubado são: (Souza, 1982)

- minério de Ti

41.500.000 com 25,73% de TiO_2

- minério de Fosfato

54.500.000 com 10,97% de P_2O_5

Admitindo um teor médio de 2% de OTR, valor que se afigura representativo, pois se apóia em 5.562 análises, (Tabelas 19 e 20) as TR contidas totalizariam cerca de 1.900.000t. Qualquer projeto de aproveitamento desses minérios deve, pois, levar em consideração a presença expressiva de TR como subproduto.

Área da METAGO

A zona mineralizada está situada ao leste da depressão central formando um corpo alongado de direção N-S.

As reservas com teores acima de 25% de TiO_2 (medidas + indicadas + inferidas) serão da ordem de 18 milhões de toneladas. "Estes valores deverão sofrer radicais modificações, porque foram baseados em furos de sonda de apenas 50m, e hoje já se sabe que a mineralização tem continuidade até profundidades superiores a 100m". (Carvalho, 1974)

O minério de Ti da área da METAGO poderá conter então mais de 360.000t de OTR, com teores da ordem de 2%.

3.3.1.4 - As TR no Minério de Nb

Desconhece-se a existência de estudos aprofundados sobre ocorrências de TR associadas ao minério de Nb do solo residual laterítico de Catalão I. Baecker (1983) refere que, neste solo, ocorrem inúmeros fosfatos secundários. Valarelli (1971) cita, entre outros, os seguintes minerais com TR: florencita, goyazita, rabdofanita e monazita.

As reservas de minério de Nb, com teores de Nb_2O_5 acima de 1%, são da ordem de 13,5 milhões na área da Mineração Catalão de Goiás. O teor de TR neste minério é de 1,70% ($Ce+La+Sm+Nd+Eu$), sendo 1,35% de $Ce+La$. (M. L. Baecker - informação pessoal)

3.3.2 - Catalão II (GO)

Catalão II é um complexo circular, com 4,3km de diâmetro, situado a poucos quilômetros ao norte de Catalão I. Fortemente intemperizado, os únicos afloramentos observados correspondem a uma rocha silicosa (silexito). O manto de intemperismo traduz-se por um solo laterítico com espessura média de 3m, podendo atingir até 10m em alguns locais.

As principais litologias do complexo, reveladas em trabalhos de subsuperfície, são: silexitos, glimeritos, carbonatitos, predominantemente sovitos, e camaforitos (foscoritos). Nos carbonatitos, os principais minerais, são, além da calcita, a flogopita, alcali-feldspato, vermiculita, magnetita, pirita, barita, pirocloro, Na-anfibólio e fosfatos de TR. (Souza e Silva, 1979)

Pesquisas iniciais, que envolveram a execução de poços e furos de trado, selecionaram uma área na porção sul do complexo que corresponde a um depósito de Nb.

As TR no Minério de Nb

A mineração Diadema/CBMM realizou grande volume de trabalhos em Catalão II que incluíram^(*): amostragem de solo superficial (1.172 amostras), mapeamentos geológicos nas escalas 1:20.000 e 1:2.500, levantamentos geofísicos (magnetometria e radiometria), levantamentos topográficos, 107 poços de pesquisa (1.163m), 20 poços de pesquisa profundos (649m), 267 furos de trado (1.886m), 28 furos de sonda (1.618m), estudos mineralógicos e análises químicas de Nb₂O₅ (6-704), BaO (3.023), TiO₂ (824), P₂O₅ (739), CaO (739), Cu (587), Ce₂O₃ (327), La₂O₃ (327), Y₂O₃ (327), Pb (314), Zn (314), V (198).

Os direitos minerários pertencem atualmente à Mineração Catalão de Goiás S/A, que já iniciou a sua lavra após realização de trabalhos de pesquisa complementares.

Com os testemunhos dos furos de sonda, e com amostras de poços e de furos de trado, foram compostas duas amostras, uma superficial (S) e outra profunda (P), representando, respectivamente, a parte superior da mineralização, minério do tipo coluvionar, e inferior (abaixo de 10m), minério de veio. Os resultados do seu estudo são apresentados nas Tabelas 21 e 22. (Souza e Silva, 1979)

Verifica-se que o teor médio de CeO₂ + La₂O₃ no minério de Nb de Catalão II é da ordem de 2%. Com base neste valor, pode-se admitir que existam, em Catalão II, mais de 18.000t de OTR contidos em 900.000t de minério de nióbio. As TR deverão estar na gorceixita, pirocloro e apatita. (Tabela 22)

3.3.3 - Araxá (MG)

O complexo carbonatítico do Barreiro, ou de Araxá, como é mais conhecido, está situado a cerca de 6km ao sul da cidade de Araxá no município do mesmo nome.

* Indica-se entre parênteses a metragem ou o no de análises (Fonte: Souza e Silva, 1979)

Esse complexo, dado o seu caráter intrusivo, originou, por arqueamento dos metassedimentos do Grupo Araxá que o envolvem, uma estrutura dômica, muito erodida. Dela resta um anel de quartzitos. Este anel, praticamente circular em planta, com 6km de diâmetro externo, protegeu da erosão as rochas do complexo carbonatítico, tendo contribuído para a formação de um manto de cobertura muito espesso. A caracterização só foi possível através dos furos de sonda, os quais revelaram que as rochas do complexo são predominantemente flogopítico-piroxênicas e flogopítico-peridotíticas com carbonatos (glimeritos), recortadas por veios e diques de carbonatitos. "A observação dos testemunhos de sondagens mostra que o carbonatito ocorre, principalmente, como um sistema complicado de veios e diques, de alguns milímetros a vários metros de espessura, respectivamente, penetrando as rochas glimeríticas./.../ Estudos petrográficos revelaram que os carbonatitos são, principalmente, do tipo beforítico de granularidade média a grosseira, tendo a dolomita como mineral predominante. Calcita e ankerita são subordinados./.../ O bariopirocloro é um acessório freqüente nesta rocha./.../ Apatita beforitos são encontrados nos testemunhos de sondagem da parte central do complexo, podendo conter até 15-20% de apatita". (Issa et al., 1984)

Os trabalhos de subsuperfície mostraram que o principal corpo de rochas carbonatíticas se situa na parte central do complexo, tem forma arredondada e cerca de 2km de diâmetro.

Segundo Silva (1978), o manto de intemperismo apresenta, de um modo geral, o seguinte perfil:

- a) uma camada superior de solo laterítico, marrom escuro ou avermelhado, terroso, contendo matéria orgânica e apresentando muita magnetita, com espessura de 1 a 3m;
- b) uma camada de material argiloso, vermelho escuro passando a amarelo ou esbranquiçado em profundidade, com espessura total variando habitualmente de 3 a 18m, mas que num furo atingiu 150m e

c) uma camada de material ferruginoso que, muitas vezes, aparece logo abaixo do solo superficial, pulverulento, contendo fragmentos de canga ou limonita, de cor marrom escura com zonas amareladas, e que se apresenta cortada por leitos de canga ferruginosa ou silixito, variando a sua espessura de alguns metros até quase duas centenas; passa gradativamente para a rocha decomposta.

Esta última camada é a que contém, normalmente, a mineralização de TR, acumulando-se a apatita nos níveis mais profundos. (Silva, 1978)

Na parte central da estrutura, o intemperismo provocou o enriquecimento de pirocloro, tendo dado origem à maior reserva econômica de nióbio conhecida no mundo (461,5 milhões de toneladas com 2,5% de Nb₂O₅).

Nessa cobertura localizam-se também depósitos de fosfato (reservas da ordem de 460 milhões de toneladas com teor médio de 20,67%), de BaSO₄, e de terras-raras.

As TR em Araxá ocorrem de três maneiras distintas:

- a. constituindo um depósito de enriquecimento residual formado por material terroso (Área Zero);
- b. associadas ao minério fosfático e
- c. ligadas ao minério de nióbio.

Ocorrem ainda, embora com teores baixos, pelo menos bem inferiores aos da Área Zero, em dois locais mal definidos, nas proximidades do depósito de nióbio.

3.3.3.1 - Depósito da Área Zero

O depósito de TR designado por "Área Zero" situa-se na parte norte do complexo carbonatítico do Barreiro. Tem forma elipsoidal, ocupando uma área de 900 x 300m, com o seu eixo maior orientado E-W.

A geologia e potencial mineiro dessa área foram pesquisados com a execução de mapeamento geológico; levantamento radiométrico; abertura de uma centena de poços atingindo profundidades de até 27m; 3 furos de sonda, um dos quais com 140m e 4 galerias de flanco de encosta, o que permitiu delimitar o depósito e cubar uma reserva superior a 700.000t de minério com um teor de 13,5 de OTR. (Castro e Souza, 1970)

A gênese desse depósito parece estar ligada à presença de rochas carbonatíticas subjacentes, ricas em TR. A concentração seria consequência de enriquecimento residual.

O depósito caracteriza-se pela horizontalidade dos níveis mineralizados, "com faixas mais ricas em terras-raras e urânio intercaladas entre camadas mais pobres nestes elementos.../ A potência da camada mineralizada varia de 3 a 18m e é em média de 10m.../ A zona principal de enriquecimento se situa entre a superfície e o nível freático. (Castro e Sousa, 1970)

Mais de metade da superfície da Área Zero é constituída por um manto eluvionar avermelhado, ferruginoso, de solo laterítico, resultante da alteração das rochas subjacentes. Aluviões ocorrem principalmente ao longo do Córrego da Mata e rocha fosfática aflorante, na sua margem esquerda. É encontrada ainda na área uma rocha feldspática muito alterada, argilosa, de cor branca, formada por uma mistura de caulim e monazita em partes quase iguais. "Os conspícuos afloramentos que formam as cristas e meia-encostas das elevações que circundam a área mineralizada são constituídos por rochas ricas em ferro, atualmente transformadas em massas compactas de goethita". (Castro e Souza, 1970)

A partir de amostras de canal de um metro, coletadas sistematicamente nos poços abertos na Área Zero (uma centena) em malha quadrada de 30m, foi constituída uma amostra média resultante da homogeneização de 500 amostras, a qual apresentou a seguinte composição mineralógica (%): goyazita (49), monazita (18), quartzo (15), goethita (90), rutilo (5), pirocloro (2,5), magnetita (0,5), zirconita (0,5), baritina (0,5) (Mendes, Murta e Castro, 1968) Esta amostra e os seus dois principais minerais, foram analisados quimicamente. (Tabela 23) A

goyazita "ocorre sob a forma de agregados microcristalinos/.../ Inclusões de rutilo /.../ e capeamento por óxidos de ferro, podem ser vistos/.../. Ao contrário da goyazita, os grãos de monazita são muito discretos, passando facilmente despercebidos /.../ São desprovidos de formas cristalinas e de aspecto terroso, muito frágeis, de cor castanha, resultantes de agregados microcristalinos, possivelmente de origem secundária /.../. Os estudos já efetuados permitem cubar cerca de 800 mil toneladas de minério contendo, em média, 13,5% de TR_2O_3 ; 2,2% de Nb_2O_5 ; 0,05% de U_3O_8 ". (Mendes, Murta e Castro, 1968)

Grossi Sad e N. Torres (1976) apresentam as reservas e as reservas acumuladas de TR da Área Zero. (Tabela 25 e 26)

As TR, embora contidas essencialmente na monazita e na gorceixita-goyazita, estão também associadas a outros minerais como a apatita e o pirocloro, o que torna complexo o seu tratamento

Na área coincidente com a Área Zero, a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração - CBMM executou furos de sonda em malha quadrada de 90m de lado, complementada com furos no centro, resultando assim uma malha de 63,63m de lado. "Essas sondagens mostraram a existência de uma concentração de terras-raras, cuja tonelagem pode ser estimada como sendo da ordem de 2,5 milhões de toneladas, com teor médio de 6,3% de óxidos de terras-raras". (Silva, 1978) Os teores de TR foram calculados em amostras de testemunhos com 10m. (Tabela 27)

As reservas são superiores às indicadas anteriormente (IPR e GEOSOL), mas os teores significativamente mais baixos.

A partir dos testemunhos dos furos de sonda, a CBMM preparou duas amostras compostas, uma "Superficial" e outra "Profunda", designadas por 273 S e 273 I, respectivamente, para estudos químicos e mineralógicos.

A amostra 273 S foi formada por testemunhos de furos de sonda com profundidade de 2,5 a 32,5m, e a 273 I entre 25 e 55m. A amostra superior foi considerada como representativa do nível do manto de intemperismo onde já houve lixiviação do cálcio. "A separação das

amostras superior e inferior baseou-se nas dosagens de cálcio, uma vez que a apatita é, provavelmente, a fonte dos elementos de terras-raras encontrados na monazita e gorceixita (goyazita), ambas de origem intempérica". (Silva, 1978)

Nestas amostras foram feitas análises químicas, (Tabela 23) petrográficas, mineralógicas (Tabela 24) estudos com raios-X (espectrografia e difratometria) e microsonda eletrônica.

Os estudos com microsonda mostraram que os elementos de terras-raras estão distribuídos principalmente nas estruturas cristalinas da gorceixita, florencita, monazita, apatita, pandaíta e, possivelmente, goethita. Os minerais portadores de elementos de terras-raras não se encontram, no geral, quimicamente puros, mas sim, formando agregados polimineriais micrométricos "A gorceixita contém estrôncio, podendo significar uma mistura de gorceixita-goyazita, predominando a primeira. A gorceixita contém, na estrutura cristalina, de 2,0 a 7,2% de óxidos de terras-raras. A apatita também é um mineral portador de terras-raras, contendo entre 6 - 10% de óxidos de terras-raras. As terras-raras na apatita estão distribuídas na rede cristalina e também em micro e cripto-inclusões, possivelmente de monazita. A goethita também contém elementos de terras-raras/... em proporções de 2 a 3%. Finalmente, a pandaíta também contém, na estrutura cristalina, elementos de terras-raras". (Silva, 1978)

O mesmo autor conclui que "embora não se possa afirmar com segurança, é provável que as terras-raras presentes na mineralização estudada sejam provenientes principalmente da estrutura das apatitas, onde elas ocorrem como impureza substitucional. A lixiviação das apatitas no intenso intemperismo que formou o manto sobre o complexo do Barreiro libera os elementos de terras-raras e o fósforo, depositando-se, secundariamente, fosfatos como a gorceixita, florencita, monazita e goyazita. As condições físico-químicas do meio laterítico são responsáveis pela baixa cristalinidade e grande variação de granulometria, bem como pela existência de complexo inter-relacionamento entre grãos minerais, que torna extremamente difícil a liberação de grãos individuais". (Silva, 1978)

Pode-se constatar (Tabela 23) que o mineral designado como goyazita do Barreiro é uma variedade muito rica em $Ba(BaO/SrO)_{\approx 2}$, em TR (6,94%) e em Nb (1,11%). A composição corresponde mais à gorceixita ou, quando muito, a uma mistura de gorceixita e goyazita.

A monazita da Área Zero, do complexo carbonatítico do Barreiro, contém 42,60% de OTR. A sua composição química (Tabela 23) mostra a presença de impurezas, como pode deduzir-se dos altos teores de Fe_2O_3 e da intensidade de perda ao fogo.

Embora tenham sido cubadas 800.000t de minério contendo em média 13,5% de TR_2O_3 , deve-se acentuar, porém, que as TR estão contidas essencialmente na monazita (18% do minério), e que a produção de concentrados de gorceixita/goyazita (49% do minério) dá origem a um produto com apenas 7% de OTR. Por outro lado, o teor de OTR na monazita do Barreiro é de 42,60%, bem inferior ao das monazitas das areias de praia do Brasil e de outras regiões. (Tabela 2)

No Laboratório de Tratamento de Minérios do Instituto de Pesquisas Radiológicas - IPR de Belo Horizonte, foram estudados processos de tratamento do minério de TR da Área Zero. (Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1985)

Com base em uma amostra média de minério, foram definidos processos físicos de beneficiamento e, numa segunda fase, a aplicação de processos químicos de tratamento que conduzissem à obtenção de compostos de TR de pureza comercial.

Fase de Tratamento Físico

A fase de tratamento físico foi iniciada com a análise das principais características dos minerais do minério da Área Zero, que se reproduz na Tabela 28. Incluiu ainda as seguintes determinações:

- separação do material em diferentes frações granulométricas, com análise química e mineralógica das frações;
- separação de frações através de métodos hidrogravimétricos;
- separação de frações através de métodos magnéticos e
- separação de frações através de métodos eletrostáticos.

A Tabela 28 indica que:

- processos gravimétricos podem separar o quartzo e, eventualmente, parte da goyazita e
- processos magnéticos podem conduzir ao isolamento de 3 frações: i) magnetita-goethita; ii) monazita-goyazita-pandalta; iii) quartzo-baritina-rutilo-zirconita.

Não é possível, portanto, o isolamento da monazita apenas, mas, dado os baixos teores de TR na goyazita, foi aquele mineral que requereu mais atenção.

Na Tabela 29 pode-se ver os teores de TR e U_3O_8 nas diversas frações. Verifica-se que há um aumento dos teores de TR nas frações mais finas, não lhes correspondendo, porém, a mesma variação em massa. "A presença de grãos de monazita livres não foi observada nem mesmo nas frações granulométricas mais finas (-250 + 325#) não parece ocorrer uma liberação satisfatória da monazita (o que se deduz da superposição dos elementos cério e lantânio principalmente aos elementos ferro, alumínio, estrôncio). Por outro lado, a presença de grãos contendo essencialmente minerais de ferro ou de silício sugere a possibilidade de separação dos mesmos por processos físicos.../. Portanto, uma eliminação, pelo menos parcial, do silício (quartzo) através de processo gravimétrico, e do ferro (magnetita ou goethita) através de

processo magnético, poderia conduzir a uma concentração de monazita". (Fernandes, 1975)

Fase de Tratamento Químico

Nesta segunda etapa foram estudados nos laboratórios do IPR, em Belo Horizonte:

- a) a solubilização seletiva do ferro;
- b) o processo sulfúrico de abertura química, com solubilização total dos sulfatos formados e
- c) a precipitação seletiva e a separação das TR.

Constatou-se que uma lavagem clorídrica do minério "para solubilização preferencial do ferro, em etapa preparatória a processos de concentração magnética, permite extração de mais de 80% do ferro total. Entretanto, a solubilização de terras-raras atinge cerca de 40%, o que torna inviável a utilização deste processo. A aplicação de processo químico sobre o material natural, segundo linha clássica de digestão pelo ácido sulfúrico concentrado, permite a abertura química da maior parte da monazita presente. O processo permite a extração de mais de 90% das terras-raras. A precipitação e separação das terras-raras, em forma e pureza comerciais, pode ser efetuada segunda a linha de tratamento clássica, pelo sulfato de sódio e hidróxido de sódio, que conduz a um produto contendo cerca de 95% de óxidos de terras-raras. O processo sulfúrico para abertura química do material, seguida de precipitação das terras-raras pelo sulfato de sódio o tratamento pelo hidróxido de sódio permite uma recuperação de mais de 75% das terras-raras". (Fernandes, 1975)

3.3.3.2 - As TR no Minério Fosfático

Os trabalhos de pesquisa realizados pela CBMM e ARAFÉRTIL em Araxá (Barreiro) levaram à conclusão que a apatita é um dos minerais primários portadores de TR no complexo carbonatítico do Barreiro, e que fosfatos secundários, como a gorceixita e a goyazita, presentes no minério

apatítico, continham também TR. A florencita foi detectada misturada à gorceixita contendo, então, essa mistura até 20% de ETR.

A ARAFÉRTIL refere teores de 1 a 2% de OTR no seu minério apatítico, e, recentemente, foram analisadas para TR_2O_3 , no CETEM, duas amostras com os seguintes resultados: botafora da ARAFÉRTIL 3,6%; solo fosfático do horizonte B, 2,5%.

Um parâmetro importante a ser levado em consideração é o da grandeza das reservas de minério fosfático, que são da ordem de 460 milhões de toneladas, com teor médio de 15,07 de P_2O_5 . Assim, considerando um teor de 1% de TR_2O_3 no minério fosfático, existirão 4,6 milhões de toneladas de OTR contidos na jazida da ARAFÉRTIL, em Barreiro.

3.3.3.3 - As TR no Minério de Nb

Embora o carbonatito do Barreiro apresente mineralização de nióbio, apenas o manto laterítico, de material intemperizado, concentrador residual de pirocloro, tem sido considerado como seu minério. É coberto por uma camada de material estéril vermelho-escuro que se distingue facilmente da zona mineralizada pela rápida transição na cor ocre no minério.

O minério de pirocloro do Barreiro apresenta teor elevado de TR, mais alto que o do próprio Nb, como se pode verificar na Tabela 30. É composto por (%): limonita/goethita (35,0), barita (20,0), magnetita (16,0), gorceixita (5,0), monazita (5,0), quartzo (5,0), bariopirocloro (4,6), ilmenita (4,0), outros (5,4). Os dois minerais de TR são, assim, a monazita e a gorceixita, mas o próprio pirocloro contém também 3,29% de TR_2O_3 .

Sendo as reservas de minério de Nb superiores a 450 milhões de toneladas, com 4,44% de TR_2O_3 , a jazida de Nb do Barreiro conteria cerca de 20 milhões de toneladas de OTR, das quais 14,8 milhões no pirocloro. A maior parte das TR fica na escória produzida pelo processo aluminotérmico, como se pode constatar pela análise da escória (%):

$Al_2O_3(48)$, $CaO(25)$, $TR_2O_3(4)$, $TiO_2(4)$, $BaO(2)$, $ThO_2(2)$, $Nb_2O_5(0,1)$, U_3O_8 (Paraíso e Fuccio, 1984)

3.3.4 - Tapira (MG)

O complexo ultrabásico-carbonatítico de Tapira ocupa uma área de $35km^2$, formando um platô de cerca de 1300m de altitude. As rochas ígneas são intrusivas nos metassedimentos do Grupo Canastra do pré-cambriano superior, composto de duas formações: uma inferior, quartzítica, com 500m de espessura; e outra superior, xistos, com 1600m. A formação inferior forma um anel quase completo em torno da intrusão.

As rochas predominantes são os silicocarbonatitos, termo que é usado para designar litologias em que os silicatos são mais abundantes do que os carbonatos, e em que estão presentes minerais como apatita, perovskita, magnetita etc. Micaperidotitos, micapiroxenitos, glimeritos e carbonatitos (predominantemente calcíticos) são as variedades litológicas mais abundantes.

A lavra da mina de Tapira foi iniciada em 1979 pela VALEP, hoje FOSFÉRTIL. O minério fosfático encontra-se localizado abaixo de duas camadas sobrepostas: uma de estéril (30 a 40m de espessura) e outra de minério de Ti (25 - 30m). Para se minerar o fosfato, houve que se retirar a camada mineralizada em anatásio.

As ocorrências de Tapira e Salitre, somadas a outras do Brasil Central, totalizam uma reserva de cerca de um bilhão de toneladas de minério de anatásio, com teor médio de 20 a 25% de TiO_2 . O Brasil detém, assim, as maiores reservas conhecidas no mundo de Ti, e os trabalhos realizados em escala de laboratório e piloto mostraram ser viável o aproveitamento do anatásio. (Baeta, 1988; CVRD, 1986; Paixão, 1983)

Devido ao processo de formação, o anatásio encontra-se associado a minerais fosfatados, Nb e TR, exigindo completa tecnologia para torná-lo matéria-prima adequada à produção de pigmentos. TR e Nb seriam, neste caso, subprodutos.

Dadas as enormes reservas de minério de anatásio no Brasil, a recuperação das TR como subproduto reveste-se, assim, de grande interesse.

3.3.4.1 - As TR no Minério de Ti

Em Tapira, o minério de Ti contém TR que capeiam o anatásio. Os teores variam de 1 a 10% de TR_2O_3 .

Estima-se, com base nos teores de TR, que nos 350 milhões de toneladas de minério com 23% de TiO_2 possam existir 800 a 900 mil toneladas de TR_2O_3 . (Baeta, 1990; CVRD, 1986; Paixão, 1983 e dados pessoais)

Os teores de Eu_2O_3 e de Y_2O_3 são, respectivamente, 0,36% e 1,9%, o que faz com que as razões Eu_2O_3/TR_2O_3 e Y_2O_3/TR_2O_3 sejam 9 e 1,2 vezes superiores às das monazitas dos "placers" do litoral brasileiro. (Lápido Loureiro et al, 1989)

O processo de recuperação das TR baseia-se no fluxograma:

- ROM - 25% TiO_2
- Preparação mecânica do minério - 55% TiO_2
- Moagem, classificação, concentração em separador magnético - 65% TiO_2
- Calcinação e redução - 69% TiO_2
- Separação magnética e eletrostática - 80% TiO_2
- Lixiviação com solução de HCl - 90% TiO_2 e 1% TR_2O_3
- Extração dos ETR por solvente.

3.3.5 - Mato Preto (PR)

O complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto está situado no município de Cerro Azul, ao leste da confluência dos rios Mato Preto e

Ribeira do Iguape. A povoação de Mato Preto está ligada a Curitiba por estrada.

O complexo de Mato Preto é constituído por dois corpos principais, que são designados por Mato Preto I, ao Sudoeste e Mato Preto II, ao Noroeste. São intrusivos nos metassedimentos pré-cambrianos do Grupo Açungui ou no granito Três Córregos, que por seu turno também é intrusivo no referido grupo. Os metassedimentos epizonais do Grupo Açungui distribuem-se em três seqüências: argilosa (filitos e micaxistos), arenosa (quartzitos, metarenitos e metaconglomerados) e carbonática (calcários, dolomitos e calcoxistos). O granito Três Córregos é um biotita-hornblenda granito tardi-tectônico, porfiróide. Na região verifica-se ainda a presença de diques básicos de direção NW-SE, correspondentes aos derrames basálticos toleíticos da Bacia do Paraná. (Lapido-Loureiro e Tavares, 1983)

Mato Preto é um complexo alcalino-carbonatítico, no qual foram reconhecidas várias fases que se sucederam na sua formação:

- a) resfriamento lento em profundidade com a formação de nefelina sienitos;
- b) fase explosiva, dando origem a tufos e brechas vulcânicas;
- c) formação de carbonatitos calcíticos (sovitos) com pirocloro e minerais de/ou com TR e magnetita sovitos, fortemente radiativos e com altos teores TR, Th e P e
- d) fonólitos e fonólitos pórfiros.

Deve ser considerada ainda a existência de fenômenos tardi-magmáticos responsáveis por processos de silicificação e de enriquecimento em fluorita. Material de natureza sienítica e xenólitos graníticos fenitizados poderão ser considerados como metassomatitos provenientes das rochas regionais graníticas.

No complexo de Mato Preto, os fluidos carbonatíticos terão penetrado nas rochas alcalinas do complexo e nas rochas regionais, dando origem a silicocarbonatitos, chaminés de brechas carbonatíticas - uma densa rede

de diques ou filonetes "stockwork" e a massas maiores sob a forma de lenticulas ou corpos irregulares.

A atividade geradora da fase carbonatítica promoveu a concentração de vários elementos, nomeadamente TR, Th, Fe, P e, de forma mais tênue, U, Nb, Ti, de minerais como a fluorita, principalmente, e de sulfetos. Os teores mais elevados de TR estão em magnetita sovitos (até 12,84%), no corpo de minério de fluorita (até 9,9%), e em alguns solos residuais (até 9%). (Lapido-Loureiro e Figueiredo, 1984)

3.3.5.1 - As TR em Mato Preto

A NUCLEBRÁS realizou trabalhos de detalhe na área do complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto (Lapido-Loureiro, 1977 e NUCLEBRÁS/ECUR, 1978) que consistiram em mapeamento geológico, abertura de trincheiras e análises químicas para U, Th, TR e outros elementos. (Tabelas 31, 32, 33 e 34) Foram analisadas amostras de trincheiras, testemunhos de furos de sonda, solos e rochas aflorantes. Embora os trabalhos visassem definir as mineralizações de U-Th, fizeram-se também análises para TR, e os resultados obtidos permitem dar enfoque aos seguintes fatos: (Lapido-Loureiro e Figueiredo, 1984)

- as mineralizações de fluorita, TR, Th e Fe-Mn estão associadas, principalmente, às rochas carbonatíticas e aos seus produtos de alteração;
- os mais altos teores de TR, Th e Fe estão associados aos ferro-carbonatitos, com valores de até 12,84% de OTR e teor médio de 7,71% em 8 amostras; (Tabela 31)
- foram encontrados valores de até 9% em solos residuais associados e carbonatitos e/ou rochas alcalinas com uma média de 3,94% de OTR em 27 amostras; (Tabela 32)
- existem extensos e espessos (?) depósitos de colúvio na base do morro sobranceiro à povoação de Mato Preto, suscetíveis de conterem boas reservas/teores de TR;

- em 116 amostras de rochas alcalinas intemperizadas, coletadas em 3 trincheiras de Mato Preto I, foi encontrado o valor médio de 1,25% de TR_2O_3 ; e em 9 amostras de Mato Preto II, 0,75% de TR_2O_3 ; (Tabela 33)
- em 27 amostras de carbonatito de Mato Preto 1, coletadas em trincheira, o valor médio foi de 1,88% de TR_2O_3 ; e em 6 amostras de Mato Preto II, a média foi de 0,72% de TR_2O_3 ; (Tabela 34)
- foram identificados os seguintes minerais de TR: monazita, rabdofanita e, acessoriamente, florencita e niocalita e
- a monazita revela-se rica de Nd e contém 2-3% de Th.

3.3.5.2 - As TR no Minério de Fluorita de Mato Preto II

A jazida de fluorita de Mato Preto é a maior do Brasil, apresentando reservas da ordem de 3,15 milhões de toneladas de minério, com 60% de CaF_2 .

São conhecidas sete ocorrências de fluorita em Mato Preto, sendo a principal designada por "Depósito Clugger". É ela que constitui a atual jazida. Situa-se no quadrante NE de Mato Preto II. (Santos, 1988)

Jenkins (1987), com base em sondagens e trincheiras delimitou quatro corpos lenticulares subparalelos de fluorita, com forte mergulho, que tendem a coalescer em profundidade. Possuem 250 m de comprimento, 80 m de espessura e foram atingidos por sondagens de até 120m de profundidade. *"Bordejando as lentes de minério foram mapeados diques de fonólito e tingalto com 2 metros de espessura média, orientados paralelamente aos corpos de fluorita.../ A falha de Morro Agudo, que limita a jazida a leste e a sul, teve provavelmente um importante papel na distribuição e geometria das lentes de fluorita e no alojamento dos diques de fonólito e tingalto. É bem provável que o desenvolvimento da zona de cisalhamento tenha facilitado a percolação de fluidos mineralizantes, ao passo que os diques de fonólito atuaram como barreira hidráulica que impediu a dispersão dos fluidos para fora da zona hoje mineralizada.../ Na área da Jazida, os processos de intemperismo atingiram profundidades de até 70m".* (Santos, 1988)

Essas condições são de grande importância para o enriquecimento em TR.

A mineralogia do Depósito Clugger é complexa. São citadas 60 espécies minerais, sendo as mais abundantes calcita, feldspato, fluorita, barita e quartzo.

Duas amostras de solo residual da trincheira 1 da NUCLEBRÁS, muito enriquecido em fluorita, mostraram a seguinte composição (%): (Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1984)

Nº Ref.	TR_2O_3	P_2O_5	Nb_2O_5	U_3O_8	ThO_2
31	3,47	0,49	0,22	0,0024	0,076
32	9,92	0,34	0,13	0,0035	0,076

R. Santos (1988) apresenta análises de ETR em 13 amostras de fluoritas de 3 tipos: roxas, incolores e remobilizadas. (Tabela 35)

Nas fluoritas roxas, não considerando a amostra P816 cujo valor Ce (188.869,0 ppm) deve ser confirmado por se mostrar totalmente anômalo e irreal, os teores de ETR oscilam entre 6.692 e 2.508 ppm, nas incolores entre 5.167 e 417 ppm e nas remobilizadas entre 1926 e 103ppm.

Aquele autor apresenta ainda os teores de elementos traços em fluoritas de Mato Preto (Tabela 36) concluindo que os valores de Y revelam pequena dispersão para as fluoritas roxas (392 - 560 ppm) e incolores microcristalinas (164 - 200 ppm) e dispersão significativa nas fluoritas remobilizadas (180 - 840 ppm).

Ao se comparar os resultados das análises apresentadas nas tabelas 35 e 36 com os das rochas encaixantes da mineralização de fluorita, (Tabela 37) verifica-se que as TR são encontradas em valores mais elevados nas fluoritas, o que parece significar que acompanham o F no fluido mineralizante. Já foi referido em 2.2.1 que as fluoritas podem conter até 14,1% de Ce ou 13,7% de Y, e que os ETR, substituindo o Ca com índice de coordenação 8, tornam possível o seu enriquecimento tanto em

ETRL quanto em ETRP. Em Mato Preto, a composição dos fluidos carbonatíticos favorece a substituição do Ca por ETRL.

3.3.5.3 - "Anomalia 13"/São Francisco

Quando da execução do "Projeto Açungui-Mapeamento Geológico", realizado pelos geólogos do Escritório Regional de Curitiba - ECUR da NUCLEBRÁS (1978), foram executados estudos detalhados em áreas pré-selecionadas pela sua radiometria/geologia/mineralogia. Dentre estas destacou-se a da "Anomalia 13" (conjunto de anomalias radiométricas assim designadas genericamente), que apresentou grande continuidade, cerca de 20 km, coincidindo com uma falha de direção aproximada E-W, por vezes com mineralização de fluorita e teores elevados de tório.

Posteriormente foi desenvolvido o Projeto São Francisco, com o objetivo de avaliar o potencial uranífero de duas áreas (Área I e Área II) a leste de Mato Preto, supostamente pertencentes à estrutura regional da "Anomalia 13". Na faixa central da Área II foram abertas várias trincheiras e poços. Concluiu o autor do relatório (Silva, 1980) que as rochas radioativas eram constituídas por brechas calcíferas permeadas por soluções sílico-feldspáticas, toro-uraníferas, resultantes da extrema diferenciação (estágio hidrotermal) de um magmatismo básico, cretácico, ocorrido na região do Vale do Ribeira. O autor afirma, no citado relatório, que amostras de canaletas e lascas de rochas das trincheiras abertas nas Áreas I e II deram resultados pouco significativos em termos de U-Th, porém bastante interessantes de Ce, La e Y.

Foram analisadas 234 amostras. Os teores de TR raramente ultrapassam 1% de $Ce_2O_3 + La_2O_3 + Y_2O_3$, com um máximo de 3,18% associados a alto teor de Th (1,89%) numa amostra de canaleta.

3.3.6 - Barra do Rio Itapirapuã (PR-SP)

O complexo carbonatítico de Barra do Rio Itapirapuã localiza-se no vale do rio Ribeiro de Iguapé, no limite dos estados de São Paulo e do Paraná, ao norte do rio Itapirapuã, nas proximidades da sua confluência com o rio Ribeira, municípios de Ribeira (SP) e Cerro Azul (PR). Faz parte

da Província Alcalina de Cerro Azul, que compreende dezenas de corpos, a maioria constituindo pequenas intrusões fonolíticas. Os mais importantes são: Tunas, Banhadão, Itapirapuã, Barra do Rio Itapirapuã e Mato Preto. Estes corpos devem corresponder a duas fases intrusivas distintas: i) a de Tunas-Itapirapuã, formada por rochas alcalinas com idades de 100 a 110 m.a., localizadas na flexura do Arco de Ponta Grossa; ii) a de Mato Preto, datada entre 67 e 73 m.a., e talvez o complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã, cuja idade ainda se desconhece. (Lápido-Loureiro e Tavares, 1983)

O complexo da Barra do Itapirapuã é formado por dois corpos (focos) - Barra do Rio Itapirapuã I (SP) e II (PR), interligados "por uma densa rede de diques, veios e filões, originando uma estrutura do tipo "stockwork". A estrutura é atravessada pelas águas do rio Ribeira, que delimita um corpo maior na margem esquerda (São Paulo) e outro menor na margem direita (Paraná)./.../ Provavelmente, as duas intrusões formadoras do complexo são contemporâneas, tendo ascendido por um mesmo conduto. O corpo menor pode representar uma "mega-apófise" do carbonatito de São Paulo. A zona de "stockwork" seria produto do intenso fraturamento das encaixantes, originado pela intrusão, no qual o magma carbonatítico penetrou na forma de diques e veios, aproveitando as linhas de fraqueza". (Silva e Oliveira, 1984)

3.3.6.1 - As TR em Barra do Rio Itapirapuã I

O complexo carbonatítico da Barra do Rio Itapirapuã I constitui na margem esquerda do rio Ribeira um "plug" de forma subcircular e relevo proeminente, com uma área aproximada de 2km². O maciço é circundado por espessos depósitos de vertente e coberto, na parte superior, por eluviões que escondem o substrato rochoso.

Os escassos afloramentos e os blocos soltos observados sugerem a existência de importante auréola de fenitização, ela própria afetada por fluidos tardimagmáticos responsáveis, provavelmente, pela presença da galena, wulfenita, fluorita, barita, sulfetos e de minerais de TR, como a bastnasita e synchysita.

Podem considerar-se, pelo menos, duas variedades estruturais de carbonatitos: uma, fluidal, com interdigitações silicosas; e outra brechóide, feldspato-carbonatítica. O carbonatito calcítico (sovito) penetra na rocha brechóide original sob a forma de filonetes e pequenas lentes, aproveitando linhas de maior fragilidade, resultantes de uma microtectônica de reajustamento. (Lapido-Loureiro e Tavares, 1983)

A empresa detentora dos direitos minerários da área, SERRANA, não divulgou os resultados dos trabalhos de prospecção que tem desenvolvido na região.

3.3.6.2 - As TR em Barra do Rio Itapirapuã II (PR)

O corpo carbonatítico da Barra do Rio Itapirapuã II tem forma ovalada e abrange uma superfície de 1,62 km². Os trabalhos desenvolvidos pela MINEROPAR atingiram bom detalhe com excelente tratamento e interpretação dos dados geológicos de campo e de laboratório.

Foram analisadas amostras de superfície (afioramentos, solos e poços) e de 7 furos de sonda inclinados, com profundidades variando de 40 a 250 m, dos quais apenas 3 interceptaram rochas carbonatíticas. *"A geologia da área é representada predominantemente por rochas graníticas do Complexo Três Córregos, as quais acham-se afetadas por intrusões carbonatíticas, o que originou zonas de intensa brechação nas encaixantes. Associados às intrusões, ocorrem pequenos corpos de rochas híbridas lamprofíricas e aglomerados. Rochas metassedimentares pertencentes ao Grupo Setuva ocorrem como enclaves e restos de teto"*. (Silva e Oliveira, 1984)

Os mesmos autores especificam que "as rochas carbonatíticas aflorantes na área são constituídas predominantemente por termos de composição ferro-dolomítica e ankerítica. Essas rochas exibem diversas texturas, denotando a existência de várias fases ou "fácies", associados ou não às atividades hidrotermais superimpostas". Citam as seguintes "fácies" para as rochas carbonatíticas: granular, porfirítica, brechóide e bandada. *"As mineralizações associadas aos carbonatitos da área foram originadas a partir de soluções hidrotermais, por processos de substituição*

e preenchimento."/.../ As principais mineralizações incluem: apatita, fluorita, barita, terras-raras, sulfetos (pirita, galena, esfalerita) e pirocloro". (Silva e Oliveira, 1984)

O enriquecimento em TR está condicionado às porções permeáveis às soluções hidrotermais, o que provoca uma distribuição irregular em corpos de pequenas dimensões.

A reforçar a idéia de irregularidade da distribuição das zonas enriquecidas, os autores do relatório afirmam que as mineralizações de origem metassomática e hidrotermal estão "relacionadas a processo de substituição e preenchimento de cavidades, constituem bolsões, amas, venulações e disseminações localizadas e restringem-se ao carbonatito hidrotermalizado". (Silva e Oliveira, 1984) Foi ainda detectado, segundo referem os mesmos autores, outro tipo de enriquecimento, de dimensões diminutas, de "caráter amigdaloidal", e algumas zonas mineralizadas que poderão corresponder a bolhas de fluido carbonatítico. Agregadas, constituem concentrações maciças de TR, mas que não ultrapassam dimensões centimétricas ou decimétricas.

A mineralogia predominante é de fluorcarbonatos de TR: bastnasita-parisita-synchysita. É citada ainda a presença de ancyllita.

Determinações de TR por microsonda em carbonatos, apatita e fluorita revelaram baixos teores de TR. São citados 4 tipos de associações mineralógicas: i) bastnasita, parisita, synchysita e quantidades insignificantes de quartzo e barita; ii) bastnasita, synchysita, barita, fluorita, quartzo, apatita, em vênulas e amas no carbonatito; iii) quartzo microcristalino e synchysita em pequenos amas; iv) manchas amarronzadas aparentemente constituídas por synchysitas ou ancyllita.

Os teores médios ponderados de TR₂O₃ foram de 1,29% (máximo 6,3%) e de 0,87% (máximo 6,4%) nos furos IT-05 e IT-06, respectivamente. Em superfície, nas amostras de rochas, os teores oscilam entre 3,0% e 4,4% de TR₂O₃. Em amostras de poços, atingiram-se os valores de até 11% de TR₂O₃ em ferro-carbonatito.

De assinalar, valores de até 3,21% (Tabela 38) de TR_2O_3 em amostras de granitos, destacando-se o de uma "rocha originalmente granitóide, a qual sofreu intensos processos de substituição hidrotermal, responsáveis pela introdução de minerais de terras-raras, apatita, barita, carbonatos, quartzo e outros derivados de soluções do evento carbonatítico". (Donaldo C. da Silva, MINEROPAR, 1992 - Informação pessoal)

Com base nos furos de sonda e numa rede de poços espaçados de 100 m, a MINEROPAR fez uma primeira estimativa das reservas de TR em Barra do Itapirapuã II, com o seguinte resultado: 2.390.250 t de minério com 1,29% ou 30.834 t de TR_2O_3 contidos.

Não existem condições topográficas para a formação de depósitos de enriquecimento residual como os que são conhecidos em Barreiro e Catalão. As reservas de fosfatos são apenas 2,1 milhões de toneladas, com um teor médio inferido de 10% de P_2O_5 , não se verificando uma associação direta entre as mineralizações de fosfato e de TR.

3.3.7 - Seis Lagos (AM)

Situa-se no município de São Gabriel da Cachoeira, região do Alto Rio Negro, ao noroeste do estado do Amazonas. O complexo de Seis Lagos dista cerca de 30km da pequena cidade de São Gabriel da Cachoeira e 840km de Manaus. É formado por três estruturas circulares que sobressaem numa área totalmente peneplanizadas. A maior é conhecida pelo nome de Seis Lagos devido aos lagos que se formaram, ocupando depressões de colapso. Tem aproximadamente 5,5km de diâmetro. A mais setentrional, Morro Norte, apresenta formato cônico e 0,50km de diâmetro na base; e a intermediária, Morro do Meio, a mais baixa e abaulada, tem um diâmetro de 0,75km.

A morfologia da região de Seis Lagos é consequência da formação de espesso manto laterítico sobre os ferro-carbonatitos subjacentes. Destacam-se, por erosão diferencial, dos gnaisses e migmatitos do Complexo Guianense, peneplanizados, que os circundam, formando três morros.

No complexo carbonatítico de Seis Lagos devem ser considerados 5 ambientes geológicos distintos:

- gnaisses e migmatitos encaixantes;
- canga laterítica resultante do intenso intemperismo dos ferro-carbonatitos, apresentando forte radioatividade;
- argilas calcíferas e carbonosas, características de ambiente redutor de pântano, localizadas nas zonas de subsidência;
- brechas carbonatíticas e/ou carbonatitos existentes em profundidade e
- depósitos de talus na parte inferior das encostas.

Os trabalhos de prospecção desenvolvidos pela CPRM visavam principalmente definir o depósito de nióbio.

A canga laterítica ocorre na superfície dos três morros sob a forma de blocos e lajeados. É porosa, apresentando-se às vezes com aspecto de brecha, outras vezes maciça, com predomínio da hematita. Localmente é manganésifera. Uma feição peculiar da área coberta por canga é a existência de depressões de colapso e de grotas. Estas estruturas de colapso, do tipo "subsidência de caldeira", são preenchidas por seqüências sedimentares encaixadas em canga ferrífera. A intercalação de argila carbonosa com argila calcífera indica que houve flutuações climáticas durante a deposição. Estão presentes, também, brechas (de colapso?). (Bonow e Issler, 1980)

A canga laterítica de Seis Lagos constitui um minério de ferro com Nb, Ti e TR, apresentando teores de Fe da ordem de 50%, de até 9,72 de Nb_2O_5 e um valor médio de 2,63. Uma análise modal revelou 86,5% de óxidos de ferro (hematita, goethita, limonita). O mineral portador de Nb é o ilmeno-rutilo niobífero e/ou brookita niobífera, sendo que uma parte do Nb pode estar contido nos minerais de Fe. Vlasov (1966) refere que a hematita pode conter até 2,2% de Nb_2O_5 .

O estudo por difração de raios-X revelou a presença de monazita, cerita e, no Morro Norte, minerais do grupo da crandalita (florecita e gorgeixita).

Foram analisadas pela CPRM, por espectrografia semi-quantitativa, 106 amostras de superfície. Apenas 4 apresentaram valores superiores ou iguais a 2% de Ce, mas quase todos foram superiores a 0,2% de Ce.

Nas argilas das zonas de subsidência, foram encontrados teores de até 1,5% de Ce nas amostras de superfície. No único furo que atravessou este tipo litológico, 11 das 12 amostras analisadas apresentaram valores acima de 1.000ppm para o La, iguais ou superiores a 5.000ppm para o Ce e iguais ou superiores a 200ppm para o Y. No intervalo 36,85 - 41,50m o teor dos ETR analisados foi de 3,68% no seu conjunto.

No CDTN, em Belo Horizonte, foram analisadas para a CPRM 36 amostras de canga laterítica. Os resultados são reproduzidos na Tabela 39. O método analítico utilizado foi o de espectrometria de energia de raios-X.

Em 8 amostras de canga laterítica, sendo 4 de Seis Lagos e 4 do Morro Norte, foram feitas pela CPRM análises químicas para La, Ce, P e determinações mineralógicas por difratometria de raios-X. Os resultados são apresentados na Tabela 40.

Verifica-se que são ainda muito incompletos os estudos feitos sobre a distribuição, teores e mineralogia das TR em Seis Lagos e nos vizinhos morros do Meio e Norte.

3.3.8 - Angico dos Dias

Distrito de Campo Alegre de Lourdes-BA, essa localidade situa-se a 390km a ocidente da cidade de Petrolina-PE, na divisa dos estados da Bahia e do Piauí.

O complexo Angico dos Dias é a única associação carbonatítica, no Brasil, datada como pré-cambriana. Tem ainda a particularidade de ser também o único carbonatito linear conhecido no País, onde são todos do tipo central ou filoniano.

A descoberta do complexo resultou de uma campanha sistemática de prospecção e foi precedida pela caracterização de um jazimento de fosfato residual com espessura máxima de 25m, teor médio de 15,4% de P_2O_5 e reserva medida, na primeira fase dos trabalhos, de 12,5 milhões de toneladas. As rochas principais são carbonatitos e sienitos. O carbonatito tem alto conteúdo de apatita superior a 14% em média. Os teores de Nb, Th e U são anormalmente baixos. Uma datação U-Pb em badaleíta e zirconita revelou idade de 2011 ± 6 m.a. para o carbonatito. (Silva et al, 1988)

"Piroxenitos e álcali-dioritos ocorrem esporadicamente. A rocha sienítica constitui um corpo alongado para NE e, em sua porção média, ocorre o carbonatito. No restante do complexo, o carbonatito posiciona-se entre o sienito e o embasamento gnáissico-migmatítico". (Silva et al, 1988)

Os mesmos autores referem ainda que "o manto de intemperismo instalado sobre as rochas do complexo - especialmente sobre o carbonatito, em contato brusco - deu origem a importante depósito de fosfato residual (apatítico), cuja espessura atinge 25m, tendo em média 10m/.../. A preservação de apatita no minério residual deve-se à sua maior estabilidade em relação ao carbonato/.../. Eventualmente, junto à superfície, o material é crustificado/.../. A apatita primária preservada no manto residual pode se decompor e se modificar, originando fosfatos secundários (gorceixita, goyazita e carbonato-apatita)".

Como se pode verificar na Tabela 41, os carbonatitos são as rochas que apresentam mais altos teores de ETR (cerca de 0,25% de TR_2O_3), com um fortíssimo componente de ETRL. Deve-se destacar, também, o elevado valor da razão Nd/La + Ce. Uma certa constância na razão La + Ce + Nd/ P_2O sugere que as TR estejam associadas essencialmente à apatita e/ou aos fosfatos dela derivados. (Tabela 42)

3.3.9 - Fazenda Varela - Lages (SC)

Esta alinea foi elaborada com base num texto fornecido pelo Prof. Luís Fernando Scheibe, da Universidade de Santa Catarina, por solicitação do

CETEM, e em artigos e teses do mesmo autor (Scheibe, 1978, 1979, 1986) e de Scheibe e Formoso (1982).

O carbonatito da Fazenda Varela situa-se no município de Correia Pinto, comarca de Lages região central de Santa Catarina. O acesso é fácil: por estrada asfaltada a partir da cidade de Lages, para o Norte até a Fazenda São Roque, e daí, por cerca de 5 km de estrada sem pavimentação até a Fazenda Varela.

O distrito alcalino de Lages é constituído por rochas alcalinas leucocráticas, rochas ultrabásicas alcalinas, carbonatitos e brechas vulcânicas, intrusivos nas camadas sedimentares gondwânicas, com idades restritas a um pequeno intervalo do cretáceo (70 - 80 m.a.).

Trincheiras, poços e sondagens rotativas mostraram corpo tabular carbonatítico, com espessura da ordem de 20 m, dentro da área de anomalia cintilométrica com 600 m de diâmetro; veios menores, anastomosados, também de carbonatito, cortam brecha feldspática resultante da fenitização de arenitos da formação Rio Bonito na parte central do Domo de Lages.

As TR ocorrem na brecha feldspática-carbonatítica, parcialmente alterada. A paragénese mineral do carbonatito é a seguinte: carbonatos com ankerita dominante (71,4%), barita (17,1%), feldspatos (6,7%), hematita-goethita (2,8%), pirita (1,3%), apatita (0,38%). São acessórios: synchisita e, eventualmente, quartzo, pirocloro e monazita. Amostras de carbonatito foram analisadas, obtendo-se valores de somatório de ETRL + Y de até 42.350ppm. A distribuição é aparentemente normal sem anomalias muito significantes de európio. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 43.

3.3.10 - Outras Ocorrências

São numerosas as ocorrências de complexos carbonatíticos no Brasil. Gomes et al (1990) citam a presença de 22 complexos.

Os mesmos autores referem que, apesar da sua importância econômica, não foram ainda pesquisados em detalhe, e apenas se dispõe de dados geológicos e petrográficos para a maioria.

Destacam-se, pela sua potencialidade para TR, além dos que já foram abordados anteriormente, os complexos carbonatíticos de Caiapó-GO; Fazenda Mutum-GO, nas proximidades do complexo anterior (embora não afluam rochas carbonatíticas, é muito provável que estejam em profundidade), Ipanema-SP e Juquiá-SP.

Qualquer programa abrangente para avaliação do potencial mineiro de TR no Brasil deve envolver o estudo detalhado dos seus complexos alcalino-carbonatíticos.

Biondi (1986), citando os estudos de Moller et al. (1980), afirma que "a repartição das terras-raras ao nível de origem dos magmas alcalinos e carbonatíticos depende da formação de compostos complexos, carbonatados e silicatados. Esta repartição leva ao enriquecimento dos carbonatitos de um fator de 5 a 20 vezes mais em TR que rochas associadas, esta repartição independentemente do volume relativo dos magmas. Por menor que seja a quantidade de carbonatito em relação às rochas silicáticas, as TR estarão sempre nos carbonatitos. Não foi determinado experimentalmente se há uma preferência das TR por carbonatitos de uma composição especial (Ca, Mg ou Fe) ou se a distribuição das TR independe desta composição. O que se observa é que as TR parecem preferir os sovitos, embora na maioria das vezes as jazidas se formem a partir de soluções hidrotermais tardias. Os sovitos, portanto, concentram TR e Nb. A imobilidade geoquímica do Nb faz com que ele permaneça na massa carbonatítica sovítica principal, enquanto as TR são mobilizadas por soluções hidrotermais constituindo os filões tardios de Iron Hill e Mountain Pass (EUA)".

3.4 - Hidrotermais Plutogênicos/Enriquecimento Residual

Nos complexos alcalino-carbonatíticos, a atividade hidrotermal, como fonte mineralizadora, desempenha um importante papel. "...profusão de diques, filões e amas preenchidos por barita, calcita, fluorita e sílica, entre

outras substâncias presentes nestes complexos, é a prova mais evidente desta participação. /.../ Ginzburg (1978) classifica de "extremamente alta" a atividade dos voláteis durante a formação dos depósitos de metais raros dos carbonatitos e considera as soluções fluoradas um dos principais agentes mineralizadores, capazes de carrear o Ta e o Nb entre outros elementos". (Biondi, 1986)

3.4.1 - Morro do Ferro (MG)

O Morro do Ferro situa-se no Planalto de Poços de Caldas, a 15 km ao sul da cidade de mesmo nome, aproximadamente no centro da chaminé alcalina. Pelas suas dimensões (880 km²) e variedades petrográficas/mineralógicas, o complexo alcalino de Poços de Caldas, gerado por uma atividade magmática policíclica, é um dos mais notáveis do mundo. (Fraenkel et al., 1985) As suas rochas alcalinas, por vezes, estão enriquecidas de forma anômala em Th, U, Zr, Mo e TR. Processos metassomáticos/hidrotermais intensos e forte intemperismo deram origem a concentrações minerais de interesse econômico: U-Mo; Zr-U; Zr; TR-Th-Fe; Al; K.

O Morro do Ferro é constituído por um "stockwork" de magnetita cortando rochas alcalinas: tingualitos, fonólitos e foialitos. Em profundidade, a rocha predominante é o tingualito.

Um furo realizado pela NUCLEBRÁS revelou que a profundidade e intensidade de alteração é grande. Talvez das maiores do Planalto, Rocha não intensamente alterada foi encontrada apenas à profundidade de 425 m, correspondendo a um tingualito brechado e hidrotermalizado com molibdenita, fluorita em fraturas, filossilicatos, pirita e cristais de gesso, além dos minerais essenciais: feldspatos, feldspatóides e minerais ferromagnesianos sódicos.

O Morro do Ferro é constituído, em superfície, por um solo laterítico, com espessura de 1 - 3m, que encerra fragmentos e agregados de magnetita cimentado por limonita e hidróxidos de alumínio. Esta camada protege o solo subjacente. A principal feição superficial é dada pela

abundância de filões de magnetita, com espessuras de 1 a 5 m; e vênulas, formando denso "stockwork".

Como o nome indica, constitui uma colina que dá origem ao relevo mais proeminente do planalto de Poços de Caldas (1.540m). O "stockwork" de magnetita comporta-se como um esqueleto que sustenta e preserva da erosão o Morro do Ferro.

A rocha hospedeira da mineralização de TR é um solo siltito-argiloso, por vezes muito ferruginoso, com densa rede de vênulas de magnetita e limonita. Apenas o furo profundo, executado para a NUCLEBRÁS, ultrapassou este material terroso, à profundidade de 425 m, quando começa a ser encontrado tingualito muito alterado. "A rocha encaixante é a "rocha potássica", que é a denominação local do tingualito hidrotermalizado, "(Utsumi et al., 1971) totalmente sericitizado. "Contém pirita, magnetita, zircão, rutilo ou anatásio em quantidades reconhecíveis à observação microscópica de baixo aumento, enquanto os minerais causadores de focos radioativos, não podem ser identificados por microscópio óptico. A identificação destes minerais só foi possível com microscópio eletrônico de varredura (Jeol 50A) e microssonda, sendo que os encontrados foram: silicato de TR, monazita com sílica, zircão contendo TR, coffinita e, provavelmente chlopinita e pirocloro./.../. O silicato de TR foi o mineral mais abundante, o qual disseminava-se uniformemente nas amostras estudadas./.../. Os niobatos presentes são poucos e os possíveis existentes confirmados pela análise qualitativa de microssonda são: fersunita, chlopinita e pirocloro". (Fujimori, 1982)

O mesmo autor enumera os minerais toríferos do Morro do Ferro: allanita, bastnasita, cerianita, torogumita, cheralita, fersunita e silicato de TR com a composição (La,Ce,Nd,Th, Ca)SiO₄ (O,OH,F). "Este mineral só foi encontrado até agora na rocha encaixante sólida não desagregada de profundidade superior a 50m, e este deve ter composição semelhante a de allanita descrita por Frondel. Fujimori (1982) propôs que este mineral decomposto pela ação conjunta dos ácidos H₂SO₄ e HF; o primeiro é produzido por oxidação de pirita abundante na rocha encaixante e o segundo é produzido a partir da fluorita radioativa abundante no local e atacada pelo ácido sulfúrico, o que é comprovado pela presença de gipso.

Wedow (1961) propõe que a "laterização de allanita é que deu origem ao depósito de tório e TR no Morro do Ferro". (Fujimori, 1984)

Em amostras de testemunhos de furos de sonda, rasos, efetuados para pesquisas hidrológicas, Fujimori (1984), utilizando microscópio eletrônico de varredura em combinação com microsonda, identificou novos minerais: thorbastnasita com possível composição química de $\text{Th}(\text{Ca}_{0,2}\text{TR}_{0,8})(\text{CO}_3)_2\text{F}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, e não aquela encontrada por Pavlenko et al (1965), $\text{Th}(\text{Ca}_{0,8}\text{TR}_{0,2})\text{CO}_3\text{F}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$; cheralita zirconífera ($\text{Th}, \text{TR}, \text{Ca}$) $(\text{PSiO}_4)_2\text{O}$ com alto teor de Th e Zr; cheralita com alto teor de Ce e Eu, um tipo raro; thorogumita, $\text{Th}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$ ou torita, ThSiO_4 ; "torianita" relativamente pura; zircão torífero, único mineral que se apresentou conservando sua morfologia aproximada, porém em dimensões extremamente pequenas (2.000x); microlita $(\text{Th}, \text{TR})_2(\text{Nb}, \text{Ti})_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$, que pode ter sido confundido com a fergusonita $(\text{Ca}, \text{La}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})_2(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$ referida por Freeborn; óxidos de Th e de TR amplamente adsorvidos na matriz argilosa.

Segundo Fujimori (1984), o elemento Th foi trazido juntamente com TR pela solução mineralizante de origem magmática, na fase final, durante o processo de sericitização que deu origem à "rocha potássica". Os minerais primários, silicatos de TR toríferos, e ou allanita torífera embora resistentes ao intemperismo, podem ter sido decompostos pela ação dos ácidos resultantes da oxidação da pirita e fluorita. São eles os maiores responsáveis pela acumulação de TR e Th. O mineral secundário predominante é a bastnasita torífera, de composição química extremamente variável, refletindo o rápido processo de decomposição de minerais primários e formação dos secundários. (Fujimori, 1984)

Sintetizando os resultados anteriores, Barreto e Fujimori (1986) citam: i) como minerais primários, um silicato rico de Th e ETR, de fórmula $(\text{TR}, \text{Th}, \text{U}, \text{Ca})\text{SiO}_4$, que parece ser a mais importante fonte de TR na formação de seus minerais secundários, cheralita, monazita, microlita (ou pirocloro), zirconita e allanita ("citada por Oliveira (1956) mas não confirmada por nenhum outro autor nem observada por nós"); ii) como minerais secundários, thorbastnasita $\text{Th}(\text{TR}, \text{Ca})(\text{CO}_3)_2\text{F}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, "provavelmente o mineral secundário mais abundante", torianita e cerianita.

Segundo Pavlenko et al. (1965), análises de material cuidadosamente selecionado de thorbastnasita deram os seguintes resultados (%): ThO_2 (46,79), TR_2O_3 (7,46), CaO (7,97), U_3O_8 (0,11), PbO (0,33), CO_2 (14,78), F (6,87), H_2O^+ (9,04), H_2O^- (2,14), Al_2O_3 (1,76), Fe_2O_3 (3,62), TiO_2 (0,05), SiO_2 (2,01), soma $102,93 - (\text{O} = \text{F}_2) 2,89 = 100,04\%$. TR_2O_3 (7,46%) apresenta a seguinte composição: La_2O_3 (1,59), Ce_2O_3 (1,28), Pr_2O_3 (0,34), Nd_2O_3 (1,22), Sm_2O_3 (0,25), Gd_2O_3 (0,25), Dy_2O_3 (0,32), Ho_2O_3 (0,12), Er_2O_3 (0,21), Yb_2O_3 (0,15), Y_2O_3 (1,73). A fórmula é $\text{Th}(\text{Ca}_{0,8}\text{TR}_{0,2})(\text{CO}_3)_2\text{F}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

A thorbastnasita analisada por aqueles autores ocorre em metassomatitos alcalinos nos exocontactos de "uma das intrusões de nefelina sienitos da Sibéria", como mineral acessório em albitos sacaróides ricos de ferro. Parece ter-se originado por substituição de Ferorita por soluções fluorcarbonatadas.

A composição química do material alterado que constitui o minério de TR-Th do Morro do Ferro é, segundo Miekeley et al (1982), a seguinte (%):

SiO ₂	18,9	La ₂ O.....	2,35
Al ₂ O ₃	26,6	CeO ₂	3,60
Fe ₂ O ₃	2,4	Pr ₆ O ₁₁	0,56
FeO.....	0,6	Eu ₂ O ₃	0,06
MgO.....	0,21	Nd ₂ O ₃	1,40
CaO.....	0,11	Gd ₂ O ₃	0,12
K ₂ O.....	2,14	Dy ₂ O ₃	0,16
Na ₂ O.....	0,06	Sm ₂ O ₃	0,27
MnO.....	0,76	Yb ₂ O ₃	0,008
P ₂ O ₅	0,65	Y ₂ O ₃	0,22
TiO ₂	2,00	ThO ₂	21,30
CO ₂	0,2		
S.....	0,03		
F.....	0,62	P.F.....	15,4

Segundo aqueles autores, os baixos teores de SiO₂, K, Na, Mg, P e Fe²⁺ indicam alto grau de lixiviação. Há, por outro lado, concentração de Al (gibbsite) e de Fe³⁺ (a magnetita é oxidada dando origem a hematita e limonita). São também abundantes elementos de baixa mobilidade, tais como: Ti, Th e certos ETR, confirmando as condições de oxidação e concentração residual. O valor da perda ao fogo (P.F.) é alto. Deve-se à perda de água dos hidróxidos de Fe e Al. A rocha hospedeira da mineralização de TR configura-se, pois, como uma bauxita ferruginosa.

Amostra seletiva de um intervalo de 5m, com teor de 14,3% de TR₂O₃, mostrou que a bastnasita representa 22,5% do minério ou 74,9% de TR₂O₃, essencialmente CeO₂ (32,8%), La₂O₃ (22,1%), Nd (11,5%) e Pr₆O₁₁ (4,4%).

Uma análise para ETR em amostra do minério do Morro do Ferro, realizada no laboratório de Controle de Qualidade da NUCLEMON, apresentou os seguintes valores: R₂O₃ (TR₂O₃ + ThO₂) = 11,7%, ThO₂ = 1,1%, U₃O₈ = 0,02%, ZrO₂ = 0,40%, SiO₂ = 18,3%. Em análises de óxidos totais, calcinados a 900°C, foram encontrados os seguintes resultados:

La ₂ O ₃	28,0	Gd ₂ O ₃	1,2
CeO ₂	40,6	Tb ₄ O ₇	< 0,05
Pr ₆ O ₁₁	4,2	Dy ₂ O ₃	0,4
Nd ₂ O ₃	12,8	Ho ₂ O ₃	0,1
Sm ₂ O ₃	1,1	Er ₂ O ₃	0,1
Eu ₂ O ₃	0,15	Yb ₂ O ₃	< 0,05
		Y ₂ O ₃	1,5
ETRL	86,85	ETRP	3,40
		ThO ₂	9,7%

Com as análises de 28 amostras de 5m, correspondentes a 139m de galeria de flanco de encosta (reaberta para essa amostragem), e de 30 amostras de 3 furos de sonda, (Figura 5), CBMM/MINEGRAL/PAULO ABIB ENGENHARIA definiram um teor médio de 3,9% de TR₂O₃. Os teores apresentados pela Paulo Abib (PAA) são sempre inferiores àqueles que foram encontrados pelo IPR nas mesmas amostras, como se pode verificar na Figura 5.

As reservas indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises, são de 6 milhões de toneladas de minério, com um teor de 5% de TR₂O₃, o que corresponderá a 300.000t de TR₂O₃ contidos. (Frayha, 1962)

Recentemente, Waber (1992) afirmou que o depósito de TR no Morro do Ferro, de origem supergênica, se formou por processos de lateritização a partir de rochas de composição carbonatítica. Ele inferiu, a partir de dados mineralógicos, geoquímicos, petroliológicos e de cálculos de balanço de massa, que a rocha hospedeira, alterada, era de composição carbonatítica e enriquecida em Th e ETR em relação às rochas silicáticas encaixantes. A intrusão do carbonatito causou a fenitização dos fonolitos circundantes, com alteração potássica, seguida da mineralização, do tipo veio, de Th - ETR associada à fluorita, carbonato, pirita e zirconita. A subsequente lateritização destruiu completamente o carbonatito, originando o enriquecimento supergênico de Th e ETR. (Waber, 1992)

O mesmo autor afirma ainda que o intemperismo inicial do carbonatito criou um ambiente químico favorável à formação de carbonato e fosfatos complexos de ETR nas águas subterrâneas. Tal fato deve ter restringido a dissolução das fases primárias de ETR. O Ce^{3+} foi oxidado para Ce^{4+} , retido, junto com o Th, em minerais secundários como a cerianita e a torianita e adsorvido nos poucos cristalizados hidróxidos de Fe e Al. Por outro lado, os ETR trivalentes são menos retidos e, portanto, ficam mais disponíveis para a formação de minerais secundários (Nd-lantanita) e adsorção, a maiores profundidades.

Quanto às reservas, Waber limita-se a reproduzir os dados de Frayha (1962), 300.000 toneladas métricas de OTR e 50.000 de ThO_2 , e de Wedow (1967), 35.000 toneladas métricas de ETR e 12.500 de Th_2O , dependendo do "cut-off", teor e profundidade considerados para o minério. Conclui que o depósito não entrou em produção porque o minério se revelou muito refratário, nos métodos convencionais, tornando a extração das TR onerosa.

O CETEM fez o estudo da concentração do minério de TR do Morro do Ferro. Os resultados obtidos com a simulação de um circuito fechado "mostraram que é possível a obtenção de um concentrado final com 22,62% de OTR e uma recuperação final de 72,12%. Foi considerado um circuito com flotação primária e duas etapas de limpeza. No caso dos ensaios usando ácido oléico como coletor, foram obtidos os melhores resultados para as duas amostras A e B". (Sampaio; Lins; Porphírio, 1989) No caso da amostra A (3,19% OTR), foi obtido concentrado final com teor de apenas 20,25% de OTR, e para a amostra B (3,49% OTR), também o baixo valor de 23,58%. Os dois ensaios foram conduzidos com a temperatura de polpa igual a 80°C. "Dos estudos de flotação realizados conclui-se que: (i) o baixo teor do minério (amostras A e B); grande quantidade de finos, cerca de 62% abaixo de 37 μ m e a liberação não satisfatória do mineral bastnasita, que ocorre majoritariamente em aglomerados, prejudicaram sensivelmente a seletividade do processo; (ii) a grande quantidade de TRO contido na fração fina (\approx 50%) desestimula, em princípio, a deslamagem do minério antes da flotação; (iii) o aquecimento da polpa nas etapas de condicionamento e flotação mostrou ser fundamental para a obtenção de resultados pelo menos razoáveis em termos de teor e recuperação: \approx 22% e \approx 70%, respectivamente,

considerando-se a recirculação dos produtos intermediários e usando-se ácido oléico como coletor". (Sampaio; Lins; Porphírio, 1989)

3.4.2 - Bambuí (MG)

A área estudada está localizada na porção sudoeste do estado de Minas Gerais. No seu centro situa-se a cidade de Bambuí, que dista 270 km de Belo Horizonte.

Constata-se, sob o ponto de vista geológico, que toda a área considerada é ocupada pelo Grupo Bambuí e coberta com relativa frequência por sedimentos terciários (argilitos, siltitos, conglomerados). Esses sedimentos podem alcançar espessuras de 30 a 40 m. Neles não foi detectada qualquer anomalia radiométrica. O Grupo Bambuí subdivide-se nas seguintes formações:

- a) Paranoá: quartzitos com filitos metassiltitos intercalados, conglomerados basais;
- b) Paraopeba: margas, siltitos, calcários, argilitos, ardósias, arenitos, arcóseos, conglomerados intraformacionais;
- c) Três Marias: arcóseos finos a médios, às vezes conglomeráticos, com intercalações de grauvas silticas e por vezes calcários.

Em relatório elaborado pela CNEN em 1969, foi citada a possível existência de TR e Y coincidindo com estruturas filonianas e diatremas, sendo este termo utilizado no sentido de chaminé preenchida por brechas de explosão resultante da pressão dos gases.

A CNEN estudou uma área de 2.000km², a qual foi coberta com uma campanha de aero-gama-espectrometria. Foram detectadas 131 anomalias radiométricas, sendo 12 correspondentes, seguramente, a diatremas. (Corrêa, 1971)

Em setembro de 1984, a NUCLEMON, dentro do âmbito do seu projeto "Fontes Alternativas de Terras-Raras", procedeu ao reconhecimento e

amostragem de 18 das anomalias mais representativas. (Lapido-Loureiro e Figueiredo, 1984; Figueiredo e Lapido-Loureiro, 1985)

Foram analisadas 27 amostras para: R_2O_3 ($TR_2O_3 + ThO_2$), Y_2O_3 , U_3O_8 e ThO_2 . (Tabela 44) Como pode verificar-se, os valores de R_2O_3 oscilam entre 6,2 e 0,1%. O resultado mais interessante (6,2% de R_2O_3 com 0,81% de ThO_2) foi encontrado numa amostra da anomalia 80 (am. BMB-21), num corpo de diminutas dimensões: veio com 10cm de espessura.

No laboratório de Controle de Qualidade da NUCLEMON, foram dosados os ETR na amostra BMB-21 com a seguinte composição em óxidos totais de TR (%):

		$TR_2O_3 + ThO_2 = 6,2$	
		$P_2O_5 = 2,9$	
La_2O_3	27,1		Gd_2O_3 0,9
CeO_2	43,6		Tb_4O_7 < 0,05
Pr_6O_{11}	2,9		Dy_2O_3 0,8
Nd_2O_3	9,3		Ho_2O_3 0,4
Sm_2O_3	0,7		Er_2O_3 0,3
Eu_2O_3	0,08		Yb_2O_3 n.d.
			Y_2O_3 1,1
		ThO_212,8	

Com base nos trabalhos de campo realizados pela CNEN e no reconhecimento geológico efetuado pela NUCLEMON, (Figueiredo e Lapido-Loureiro, 1985) podem tirar-se as seguintes conclusões (não se possuem dados de caráter mineralógico):

- as anomalias radiométricas estão associadas a corpos intrusivos, sendo a maioria deles de dimensões muito reduzidas;
- a radioatividade anômala deve ser atribuída a impregnações por soluções hidrotermais, possível veículo de fluidos mineralizantes de U, Th e TR;

- deverão ser consideradas duas etapas na formação dos corpos intrusivos: abertura/preenchimento (fase mecânica) - impregnação/venulação (processo hidrotermal);
- o material que preenche as estruturas filonianas e os corpos designados por diatremas é essencialmente brechóide, com baixa radioatividade, quando ocupa grande volume e não se apresenta venulado e
- em superfície, só a anomalia 7 revelou uma área apreciável: $0,75km^2$.

3.5 - Pegmatíticos

São comuns as mineralizações de TR em pegmatitos. No Brasil conhecem-se vários pegmatitos com minerais de TR, mas com pouco ou nenhum interesse econômico.

3.5.1 - Região de São João del Rei (MG)

Na região de São João del Rei, ao norte da cidade, são conhecidas mineralizações tântalo-niobo-estaniíferas espalhadas numa área retangular de 100 x 20km, alongada, segundo a direção N 70° W, entre os meridianos 43° 45' e 44° 45'. Estão relacionadas a numerosos pegmatitos graníticos.

Os pegmatitos e os aluviões deles resultantes têm dado origem a atividade mineira, principalmente na margem direita do rio das Mortes.

Os pegmatitos são geralmente subverticais com espessuras variando de um a alguns metros. Apresentam-se também na parte apical das intrusões sob a forma de lentes sub-horizontais, que podem atingir 10-20m de espessura.

Não se conhece os teores de TR nas mineralizações de cassiterita, sabendo-se contudo que o xenotímio está presente.

Rolf (1952-b) cita a existência de três tipos de pegmatitos: estaníferos, estano-litíferos e fosfo-estaníferos. Nestes "o teor em cassiterita é menor e abundam cristais centimétricos de monazita, e mais raramente xenotímio e provavelmente litiófilita. Comuns são os intercrescimentos entre cassiterita e cristais espectrais de monazita, e desta com xenotímio (?)". O mesmo autor (Rolf, 1952-a) referindo-se à monazita afirma que "aparece junto à cassiterita, em filões /.../. Muito mais comumente ela aparece junto às areias dos rios, nas regiões dos municípios situados nos vales dos rios Santo Antônio, Morte Grande, Peixe e seus diversos afluentes. Em filões com cassiterita, situados em Fartura, Rochedo, Barro Vermelho, Fumal e Ramos, ela aparece com outra variedade onde domina mais o metal chamado ítrio, talvez até constituindo nova variedade mineralógica. Temos boas reservas dessa monazita e a cada dia novas descobertas são feitas aumentando-as cada vez mais."

Rolf (1951) refere que o xenotímio "tem ocorrido em vários pegmatitos também produtores de monazita, especialmente na região do Espigão dos Pinheiros, Bacia do Mosquito, entre os municípios de Prados, São João del Rei e Rezende Costa /.../. Amostras providas de Fartura, e nas quais foi executado espectrograma, mostrou claramente que certas monazitas podem atualmente classificar-se como misturas mais ou menos íntimas de xenotímio e monazita. Em alguns casos torna-se mesmo fácil separar cristais perfeitos e típicos de xenotímio. Nos aluviões estano-monaziticos do Ribeirão do Jaburu também determinamos a presença de xenotímio como elemento das mesmas. No aluvião estano-monazitico do Rio Santo Antonio e na do seu afluente Ribeirão da Carioca o mesmo acontece. Entretanto, até o presente momento, embora todas as jazidas produtoras de monazita o tenham mostrado, somente a zona de Fartura-Rochedo mostra-se mais promissora, não só pelos teores elevados, como pela presença do mineral nos filões primários".

Ao sul de São João del Rei ocorrem gnaisses cataclados, radioativos, numa extensão aproximada de 20 x 10 km "A presença de epidoto e pirlita indica um metamorfismo de temperatura moderada, o que deve ter sido favorável ao geoquimismo dos elementos do grupo de terras-raras e possivelmente do urânio /.../. Do ponto de vista genético, essa rocha está ligada a escarnitos e, por isso mesmo, pode oferecer

grande interesse para a pesquisa de depósitos minerais, tais como os de tório, terras-raras, urânio e nióbio". (Guimarães, 1956)

3.5.2 - Peixe (TO)

Bolsões pegmatíticos com grandes cristais ou massas de monazita e/ou allanita ocorrem nos micaxistos e gnaisses situados ao sudeste do complexo alcalino de Peixe. Prolongam-se para o norte, sempre nas proximidades da face este do complexo alcalino, de forma irregular e descontínua por cerca de 15 km. A monazita vai dando lugar progressivamente (?) à allanita: os bolsões de monazita ao sul, passam a ser de allanita ao norte. Uma amostra do material monazitico mostrou ser constituída essencialmente por este mineral (75%) associado a óxido de ferro limonítico + apatita + allanita (20%) + opacos + quartzo + mica + leucoxênio + material argiloso (5%). (Figueiredo e Lapido-Loureiro, 1984)

No bolsão de maiores dimensões foram extraídas, até à profundidade de 5 a 6m, cerca de 30t de monazita. Os trabalhos de garimpo foram suspensos por desabamento e inundação da cava.

A monazita revelou-se de excelente qualidade, como pode ser constatado pela análise reproduzida na Tabela 4.

Na Tabela 45 apresenta-se a composição em TR do material rico de monazita com alguma allanita. Constata-se que os teores de Th são baixos quando comparados aos de monazitas de areias de praia.

Uma amostra de allanita apresentou a seguinte composição mineralógica (%): allanita (77), plagioclásio (15), quartzo (3), leucoxênio + opacos + apatita + moscovita + monazita (5).

3.5.3 - Outras Ocorrências

Como se afirmou, são conhecidas numerosas ocorrências de minerais de TR e pegmatitos no Brasil. A título de exemplo, podem ser citados:

Gruta dos Generosos e Divino, em Minas Gerais; Serra das Éguas, na Bahia; Xambioá, em Tocantins.

Gruta dos generosos situa-se no barranco da margem esquerda do rio Cunhães, 30km ao este de Serro. O dique de pegmatito tem em média 3m de espessura, mas os minerais de TR, principalmente monazita, representam uma pequena fração da massa do dique.

A ocorrência de Divino situa-se a 20km ao sudeste de Ubá. Trata-se de um dique de pegmatito, encaixado no gnaiss, sendo explorado irregularmente para caulim e mica. A monazita ocorre em grandes cristais, geralmente decompostos, com 70 a 76% de OTR e 6 a 8% de ThO_2 . (Maciel e Cruz, 1973)

Na Serra das Éguas, município de Bom Jesus dos Meiras, são conhecidos pegmatitos com monazita em cristais idiomórficos com 3 a 4cm, associados a magnetita, topázio rosa e esmeralda. A monazita apresenta baixo teor de ThO_2 , aproximadamente 0,05%. (Maciel e Cruz, 1973)

Na região de Xambioá, a poucos quilômetros da vila do mesmo nome, ocorrem pegmatitos com belos cristais idiomórficos de monazita, hoje raros e encontrados eventualmente em entulhos de antigos garimpos.

3.6 - Sedimentares

As apatitas de origem marinha contêm entre 110 e 1550ppm de OTR. (Robinson, 1948) Os fosforitos, rochas sedimentares de origem marinha, são a principal fonte de produção de ácido fosfórico. Têm como característica apresentarem enriquecimento em Y e deficiência em Ce. No oeste americano foram registrados valores de até 1.000ppm de Y em certos horizontes fosfáticos da Formação Phosphoria, Permiana. (Gulbrandsen, 1966)

São, pois, uma fonte potencial para a recuperação de ETRP nos processos industriais de produção de ácido fosfórico.

3.6.1 - Miriri (Pb-PE)

O texto que se segue foi elaborado com dados fornecidos pela CPRM.

O depósito de rocha fosfática de Miriri localiza-se ao sul de João Pessoa, nos municípios de Alhandra e Pedra do Fogo; no estado da Paraíba, e no município de Goiânia em Pernambuco.

É uma bacia sedimentar em que a fácies marinha é representada pelas Formações Itamaracá, Gramame e Mário Farina. A rocha fosfática está na base da Formação Gramame.

Foram executados 134 furos e coletadas 1.060 amostras de testemunhos. As análises não incluíram TR.

As reservas totais divulgadas são de 28 milhões de toneladas de rocha fosfática com 10,9% de P_2O_5 .

Duas dezenas de amostras escolhidas aleatoriamente, a título de pesquisa preliminar, foram analisadas para 30 elementos, por espectrografia de emissão, tendo-se obtido valores da ordem de 500ppm para o Ce e entre 50 e 300ppm para o Y e La.

3.7 - Ocorrências Mal Definidas

Assim se designam as ocorrências que estão numa fase incipiente de estudo ou de que se possuem poucos dados referentes a TR.

3.7.1 - Itataia (CE)

O depósito fosfo-uranífero de Itataia localiza-se a cerca de 170km ao sudeste de Fortaleza. Pode ter-se originado numa depressão preenchida por "fosfatos marinhos a partir da acumulação de restos fosfáticos e carbonosos". (Mendonça et al, 1985) As rochas regionais que circundam o depósito são principalmente paragneisses com grandes lentes

carbonáticas, ambos cortados por diversas apófises graníticas e pegmatíticas.

Distinguem-se dois tipos de minério: um com massas uniformes de colofano (colofanito) e outro venulado, constituindo um "stockwork" de colofano em mármore, gnaisses e epissienitos.

A rocha colofanito é quase monominerálica (80% de colofano). Ao microscópio verifica-se que forma um mosaico constituído por cristais de apatita automórficos e lípidos e/ou esferulitos compostos por apatita e íntima associação com massas criptocristalinas de colofano. (Mendonça et al, 1985)

O teor de P_2O_5 no colofanito é de 26,35%; e o de U_3O_8 , é de 0,19%.

As reservas geológicas de U_3O_8 são da ordem de 142.500t (sendo 91.200t medidas) associadas a cerca de 18.000.000t de P_2O_5 .

Oito amostras de colofanitos de testemunhos de oito furos de sonda, coletadas em profundidades e intervalos aleatórios, revelaram teores de até 870ppm de Y e um valor médio de 456ppm.

Estes valores, altos para rocha fosfática, podem sugerir a sua origem marinha e, por outro lado, incentivarem que se faça o seu estudo, para se determinar o possível aproveitamento das ETRP como subproduto do ácido fosfórico e do U que serão produzidos a partir do minério de Itataia.

3.7.2 - Serra do Repartimento

O texto desta alínea baseou-se em relatório fornecido pela CPRM.

A ocorrência de TR designada por Serra do Repartimento localiza-se no estado de Roraima, Município de Mucajaí. Dista cerca de 180km, por estrada, de Boavista.

A área de corpo mineralizado apresenta-se recoberta por solo laterítico com raros afloramentos. Situa-se no Complexo Serra do Repartimento,

onde foram identificados quatro "stocks" de sienitos, tingualtos, monzonitos, alguns diques de fonolito e nefelinito.

O corpo mineralizado, laterítico, por vezes com blocos de barita abundantes, é cercado por rochas silico-feldspáticas também cobertas por lateritos na generalidade. No material laterítico radiometricamente anômalo, foram identificados, além dos óxidos e hidróxidos de ferro, barita, monazita, zirconita e gorceixita-goyazita.

Em amostras de solo laterítico foram encontrados valores de 1 a 5,5% de $La_2O_3 + CeO_2 + Pr_6O_{11} + Y_2O_3$, de 0,11 a 1,6% de Zr_2O_3 e de 0,10 a 0,28% de Nb_2O_5 .

4. CONCLUSÕES/SUGESTÕES

No Brasil, as maiores reservas e os mais altos teores de TR são encontrados em solos lateríticos e silexitos associados a complexos carbonatíticos, (Barbosa e Lápido Loureiro, 1993) como pode verificar-se na Tabela 46.

Confirma-se e reforça-se, assim, a idéia de A. Mariano de que lateritos enriquecidos de ETR, desenvolvidos sobre complexos carbonatíticos, podem representar a maior fonte de TR no mundo. (Mariano, 1989)

O intemperismo de rochas carbonatíticas promove a desestabilização das suas calcitas e apatitas, minerais essenciais e portadores de ETR. Seria esta a principal fonte geradora de concentrações de TR associada aos processos de laterização de carbonatitos. Não se possuem dados sobre a composição de ETR de calcitas e apatitas dos carbonatitos do Brasil. Sabe-se, porém, que o concentrado fosfático da GOIASFÉRTIL, em Catalão, com cerca de 90% de apatita, contém 1,3% de R_2O_3 (Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1985a) e que, por outro lado, no carbonatito de Oka, no Canadá, as análises de: i) 9 amostras de apatita, revelaram um valor médio de 24.333ppm (2,43%) de ETR; ii) 23 amostras de calcita, 1098ppm (0,11%) de ETR. (Eby, 1975)

Verifica-se, assim, que a formação de concentrações de TR associadas ao intemperismo de rochas carbonatíticas pode revestir-se de grande interesse econômico. O mecanismo dos processos concentradores de fosfatos, durante a evolução supérgena dessas rochas, foi estudado em Juquiá (Alcover Neto e Toledo Groke, 1989). Os autores mostraram que a eles estão associados a migração, concentração e neoformação de minerais de TR.

Considerando o peso da calcita na composição dos carbonatitos, deduz-se facilmente que, por processos intempéricos e/ou tardi-magmáticos (metassomáticos, hidrotermais), poderão ser mobilizados, depositados e concentrados enormes volumes de ETR.

Processos de silicificação, associados à remobilização das TR, podem dar origem a importantes concentrações com altos teores de ETR, como no Córrego do Garimpo, em Catalão I. Oscilações ou rebaixamento do lençol freático, sazonais ou relacionados ao tempo geológico, possibilitam a mobilização de elementos como os ETR, Ba, Sr e a sua reprecipitação em diferentes níveis ou nas partes mais profundas do perfil de alteração.

Lottermoser (1990) acentua que também pode verificar-se um fluxo da frente de intemperismo do carbonatito para os níveis superiores, o que contribuiria igualmente para introduzir ETR no perfil de alteração.

Devem encarar-se três situações distintas na definição dos "Recursos Identificados" de TR no Brasil:

- a) reservas, muito escassas, de minas em produção: "placers" do litoral do estado do Rio de Janeiro (NUCLEMON);
- b) reservas já definidas como economicamente viáveis: "placers" de Pitinga (PARANAPANEMA), Rio Sapucaí (SAMITRI) e minério de Ti (anatásio) de Tapira (CVRD) e
- c) reservas potenciais, com enormes volumes e altos teores, mas ainda não viabilizadas tecnologicamente: i) as TR como produto principal: silexito de Catalão I (GOIASFÉRTIL) e solos lateríticos desenvolvidos sobre complexos carbonatíticos (Morro do Ferro - MINEGRAL e Área Zero - EXTRAMIL); ii) as TR como subproduto, associadas a outros minérios: fosfáticos em Araxá (ARAFÉRTIL) e em Catalão I (GOIASFÉRTIL E COPEBRÁS); de Ti, em Catalão I (METAGO); de Nb em Araxá (CBMM) e em Catalão I e II (MINERAÇÃO CATALÃO DE GOIÁS).

O termo "Recursos Identificados" é utilizado com o mesmo sentido atribuído a "Identified Resources" pelos U.S. Bureau of Mines e U.S. Geological Survey: recursos cujas características, localização, teor e quantidade são conhecidos ou estimados com base em evidências geológicas específicas. Incluem componentes econômicos, marginalmente econômicos e subeconômicos (Mineral Commodity Summaries, 1992 e anteriores).

Os "Recursos Identificados" de TR no Brasil podem ser classificados das cinco maneiras apresentadas a seguir.

A. Em produção

A.1 "Placers" marinhos - estados do Rio de Janeiro e Bahia

B. Extração econômica já definida como possível, mas não iniciada - As TR como subproduto.

B.1 "Placers" fluviais - Pitinga: os ETRP são subproduto de Sn, Zr, Ta-Nb. O concentrado de xenotímio apenas está sendo estocado.

B.2 "Placers" fluviais - Rio Sapucaí (MG). As TR são subproduto de Zr, Ti, Au.

B.3 Solos lateríticos - Tapira (MG). As TR são subproduto do minério de Ti; capeiam o anatásio.

B.4 "Placers" marinhos - estados da Bahia, Ceará e Piauí. Baixas concentrações de monazita, que seria um subproduto da ilmenita, zirconita, rutilo.

C. Extração econômica não-definida - As TR como produto principal.

C.1 Processamento ainda não estabelecido - Córrego do Garimpo, Catalão I (GO).

C.2 Processamento problemático ou impossível - Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG) e "Área Zero", Araxá (MG).

C.3 Ocorrência não estudada - Mato Preto I (PR): Solos coluviais e Fe-carbonatitos (protominério?).

D. Recuperação ainda não pesquisada - As TR como subproduto

D.1 Circuito industrial de produção de ácido fosfórico: a matéria-prima, concentrados fosfáticos, contendo, em Catalão (1,3%) e em Araxá (1,38%) de OTR.

D.2 Solos lateríticos com enriquecimento supérgeno.

Minério fosfático não apatítico de Araxá (MG).

Minério de anatásio de Catalão I (GO)

Minério de Nb - Catalão II (GO)

D.3 Minério fluorítico de Mato Preto II (PR)

D.4 Escória do processo alumino-térmico de produção de Fe-Nb a partir de minérios de Nb (Araxá, Catalão I e II).

E. Extração considerada impossível.

E.1 As TR como subproduto do minério de Nb (enriquecimento residual em solos ferralíticos - Araxá).

As reservas, teores e mineralogia são apresentados na Tabela 47.

No Brasil, não há estudos sobre a possível recuperação de ETR nas linhas de produção de ácido fosfórico, ácido fluorídrico e alumínio.

No entanto, nos minérios fosfáticos de Catalão e de Araxá, os teores de TR são altos. No concentrado apatítico de Catalão, determinou-se o valor de 1,3% de TR_2O_3 ; (Lápido-Loureiro, 1980; Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1985a) A apatita de Kola, na Rússia, embora contendo 0,85% de TR_2O_3 , deu lugar à recuperação de TR em escala comercial. Essa recuperação foi realizada pela própria Rússia e também Polônia e Finlândia (Neary e Highley, 1984) como já foi referido anteriormente, utilizando o minério de Kola.

As fluoritas roxas de Mato Preto apresentam valores entre 0,67% e 0,25% de TR_2O_3 e, nas incolores, os teores oscilam entre 0,52 e 0,04% de TR_2O_3 (Santos, 1988). Desconhece-se o comportamento das TR nas etapas de beneficiamento desse minério.

Também não foi estudado o comportamento das TR nas etapas de produção de Al. Dado que o processo de formação das bauxitas pode ser concentrador de TR, haveria todo o interesse em se pesquisar a sua distribuição e associação com outros elementos raros, como o Ga, e equacionar a sua recuperação. Particular atenção deverá ser dada às bauxitas desenvolvidas sobre rochas alcalinas, como as de Poços de Caldas e Passa Quatro.

A extração de ETR como produto principal ainda não foi viabilizada no Brasil. É importante notar que nos três projetos já definidos como economicamente viáveis, Pitinga - PARANAPANEMA - 1000 t/ano (55%

OTR; 45% Y_2O_5); Sapucaí - SAMITRI - 1000 t/ano OTR; Tapira - CVRD/MITSUBISHI - 3000 t/ano OTR, as TR serão extraídas como subproduto, com a particularidade do minério de Pitinga ser de TR_γ.

Há contudo, no Brasil, três depósitos em que as TR são produto principal. (Tabela 47) Desses, o mais promissor é o Córrego do Garimpo em Catalão I, Goiás.

O seu estudo detalhado está sendo desenvolvido pelo CETEM e Universidade Técnica de Munique (Alemanha) no âmbito de um contrato com a CEE. Os primeiros resultados indicam que:

- a) a área de sílexito mineralizado em TR, definida pela METAGO e hoje pertencente à GOIASFÉRTIL, é bem superior àquela que vem sendo considerada: prolonga-se para áreas da COPEBRÁS e MINERAÇÃO DE GOIÁS, o que deve aumentar as reservas já definidas; (Tabelas 15 e 16)
- b) foram caracterizados dois tipos de minério sílexítico: rocha dura, compacta ou cavernosa e material friável;
- c) com base na observação dos testemunhos de 3 furos rasos, inferire-se que, até a profundidade atingida (35m), o material mais abundante é o sílexito friável;
- d) o material amarelo-esverdeado, considerado como rabdofanita, é um agregado de grãos microcristalinos, constituídos por núcleos de monazita capeados por cerianita (?);
- e) os teores de ETR no sílexito são altos, com grande predomínio de ETRL: 12,07% TR₂O₃, média de 3 amostras analisadas no CDTN; (Tabela 48) 9,96% de La + Ce + Nd, média de 3 amostras analisadas na Universidade Técnica de Munique; (Tabela 49) os teores dos ETR, Th e U foram apresentados em 3.3.1.1, com base numa amostra com 11,7% de R₂O₃ analisada na NUCLEMON;
- f) a composição mineralógica do sílexito, definida por DRX, é quartzo, goethita, monazita, barita e cerianita (?) e

g) os teores de U (65ppm) e Th (36ppm), determinados na Universidade Técnica de Munique, numa amostra de sílexito mineralizado com 46.952ppm de La + Ce + Nd, são muito baixos, confirmando pesquisas feitas pela NUCLEMON, referidas em 3.3.1.1, e caracterizam um minério de baixa radioatividade.

Conclui-se que Córrego do Garimpo é um depósito muito promissor pelos seus teores/reservas/mineralogia/baixa radioatividade. No entanto, os ensaios de beneficiamento executados pelo CDTN para a NUCLEMON numa amostra de sílexito compacto, parece não terem conduzido a bons resultados. Desconhecem-se os caminhos seguidos e as conclusões a que, efetivamente, chegaram: não foram divulgadas, nem facultadas. Uma rota que envolva beneficiamento físico e, essencialmente, extração química, parece ser o caminho mais indicado pelas características do minério: rocha fortemente silicosa, cavernosa quando compacta, ou friável. Ataque ácido, após britagem apropriada e desmagnetização, poderá, talvez, proporcionar boa solubilização das TR com baixo consumo de ácido. Não deve ser descartada a hipótese da utilização de pilhas de lixiviação.

O CETEM está desenvolvendo um projeto para definição da possível extração econômica dos ETR no sílexito de Catalão I.

Os minérios de TR de Morro do Ferro, em Poços de Caldas e Área Zero, em Araxá, pela sua complexidade mineralógica, com os ETR distribuindo-se por vários minerais, por se apresentarem sob a forma de agregados microcristalinos poliminerálicos e também pelos altos teores de Th no 1º caso, e posição geográfica em relação à barragem de rejeitos da CBMM e esquema de monitoração ambiental implantado no local, no caso da Área Zero, são considerados mais problemáticos, como foi detalhado em 3.3.3.1 e 3.4.1.

Tendo em vista que:

- a) toda a produção de TR no Brasil se baseia na lavra de "placers" marinhos;
- b) o mineral minério, a monazita, é um subproduto da ilmenita, zirconita e rutilo, minerais que condicionam fortemente a viabilidade econômica desses depósitos;
- c) suas reservas são escassas e a lavra cria problemas ambientais devido aos depósitos se situarem em áreas turísticas ou de potencial turístico e
- d) os altos teores de Th na monazita também levantam problemas, tanto na fase de beneficiamento quanto na de armazenamento de rejeitos,

sugere-se que se planeje uma retomada da produção de TR no Brasil em níveis condizentes com a sua tradição. Deve levar-se em consideração que começa a se abrir um amplo campo de novas aplicações para as TR, e que o potencial para a sua produção no Brasil é enorme, como foi visto.

Podem ser considerados como alvos prioritários:

- a) Pitinga, para TR pesadas;
- b) Córrego do Garimpo pelas suas enormes reservas, altos teores e pelo fato das TR não estarem condicionadas à produção de outros bens minerais;
- d) Tapira, dependente da solução do problema da produção de Ti.

O estabelecimento de uma política mineral para as TR no Brasil deve levar em consideração as novas tendências do mercado.

Além do conhecido perfil de consumo das TR, esquematizado na Tabela 52, abrem-se novos domínios: na agricultura, como nutriente; na pecuária, como aditivo nas rações do gado ovino, para melhorar a qualidade da lã; em ligas Al-TR; nas cerâmicas avançadas; em ligas metálicas e aços, como inibidores de corrosão. Estes novos campos de aplicação irão requerer grandes volumes de TR. O consumo normal, com

a aplicação na agricultura, poderá duplicar no começo do século 21. (Gschneider Jr., 1989a)

A China já utiliza um nutriente agrícola constituído essencialmente por nitratos de TR, cujo nome comercial é "Changle" ("nong-le"), com resultados de grande interesse para países fortemente agrícolas como o Brasil. É aplicado sob a forma de dois tipos de pó, CL1 e CL3; e dois de líquido, CL2 e CL4.

Segundo o "Rare Earth Development Center for Agricultural Technique", de Beijing, a aplicação de "nong-le", em dosagem apropriada, pode aumentar a fotossíntese, a quantidade de clorofila e o poder de absorção do P, isto é, desenvolve a produtividade e melhora a qualidade do plantio. A produtividade pode aumentar 5-10% para os grãos em geral, 8 - 10% para a soja e amendoim e 10 - 20% para frutos e vegetais. Pode também aumentar a quantidade de açúcar nas culturas de cana, melancia e beterraba. O "resultado da aplicação de "Changle" em 3 milhões de hectares de área cultivada, na China, revelou uma razão custo/benefício de 1:7 a 1:20", segundo aquele Centro.

A expectativa para este mercado é de um crescimento de 20% ao ano para os próximos 5 a 10 anos, na China. As vantagens já foram bem definidas, mas os mecanismos ainda são desconhecidos. Sabe-se, por outro lado, pela experiência e pesquisas já desenvolvidas na China, que a adição de TR na cadeia alimentar não tem efeitos negativos para a saúde humana. (Gschneider Jr., 1989 a) Segundo o mesmo autor, pode esperar-se uma grande expansão no uso das TR na agricultura, com início em meados dos anos 90, que poderá ter como consequência a duplicação do consumo normal de TR no começo do século 21.

A Austrália já persegue os conhecimentos chineses nesse domínio, tendo feito um acordo em dezembro de 1988 para obtenção da tecnologia e direito de comercialização de "nong-le" da China, com exclusividade para o seu país e Nova Zelândia por um período de 13 anos. (Gschneider Jr. 1989a)

Não só na agricultura, mas também na pecuária, os centros de pesquisa brasileiros deveriam estudar, com todo o interesse, essa aplicação das TR.

As cerâmicas avançadas poderão vir a ser outro importante domínio de aplicação de ETR. Estima-se que o seu mercado mundial crescerá 3,5 vezes na década de 90, passando de US\$ 15 bilhões em 1990 para 53 bilhões no ano 2000, o que irá representar um aumento de 17,5 vezes de 1980 até o final do século. (Tabela 50)

Como inibidores de corrosão também se abre um novo campo promissor para as TR. A sua eficiência começou a ser comprovada em 1984 por Goldie e McCarroll (citados por Hinton, 1992). Constataram que concentrações de 0,001M de $Ce(NO_3)_3 \cdot 7H_2O$ ou de $La(NO_3)_3 \cdot 7H_2O$ evitam em 91% e 82%, respectivamente, os efeitos de corrosão provocados em "aços doces" por uma solução a 3,5% de NaCl. (Gráficos 2)

Hinton (1992) refere ainda que as pesquisas desenvolvidas por Hinton et al divulgadas em 1988 mostram que $CeCl_3 \cdot 7H_2O$ é um efetivo inibidor de corrosão para o aço doce AS1020. Mergulhado em água comum leve, exposta ao ar, necessita apenas de 50ppm de $CeCl_3$ para redução significativa da taxa de corrosão, como se pode confirmar no Gráfico 3. Foi também constatado (Hinton, 1992) que as superfícies de ligas de zinco e de aços, quando mergulhadas em soluções aquosas contendo sais de TR em quantidades suficientes para inibir a corrosão, ficam cobertas por um filme de OTR hidratados (formado por mecanismo catódico?) que as protege.

Uma empresa americana de New Jersey descobriu que, em soluções salinas, a liga Mg-Al-Zn-Nd, além de manter as boas propriedades mecânicas das ligas convencionais de Mg-Al-Zn, é muito mais resistente à ferrugem. (Gschneider Jr., 1989)

Um dos mercados de mais rápido crescimento na China é o das ligas TR-Al. O uso das TR para este efeito cresceu de 12.000 para 120.000 toneladas métricas de 1983 a 1989. (Tang, 1992)

Verifica-se, assim, que estão se desenvolvendo novos campos de aplicação para as TR. Embora o percentual de TR utilizado unitariamente seja baixo, os enormes volumes envolvidos irão representar um grande acréscimo no consumo desse bem mineral.

No contexto mundial, como já foi referido, as reservas brasileiras de TR, medidas e definidas como economicamente viáveis, são pequenas (0,27%); e a produção, baixa (3,9% em 1991). (Tabela 51) Hoje, após fechamento das usinas da NUCLEMON, em São Paulo, por problemas ambientais, a produção de TR é praticamente nula.

Para que o Brasil possa retomar a sua posição de destaque como produtor (já foi o principal), deve ser definida, com urgência, uma política mínero-industrial que poderia inspirar-se no caminho seguido pela China. Começar-se-ia, numa primeira fase:

- a) pela definição da viabilidade econômica dos seus enormes "Recursos Identificados";
- b) pelo estudo e definição da possibilidade de recuperação das TR como coproduto ou subproduto de minérios fosfáticos (este caminho é seguido na C.E.I.), titaníferos (estudo desenvolvido pela CVRD em Tapira, com resultados amplamente positivos), fluoríticos (já há um projeto, para este tipo de minério, em plena execução, no Canadá, com entrada em produção prevista para 1944 e, no Brasil, existem situações análogas);
- c) pela prospecção e definição de depósitos do tipo "adsorção iônica", adaptando ao Brasil a experiência chinesa; (Chengyu et al, 1990) e
- d) pela localização, estudo e caracterização de outros minerais suscetíveis de virem a constituir novos minérios de TR, como por exemplo, perovskita, loparita, ítrio-synchisita, allanita e pirocloro.

Estes pressupostos levaram em consideração que cada minério de TR tem características específicas, e que não só os teores, mas também o balanço de massa dos ETR, são de grande importância na avaliação econômica de um depósito.

A recente descoberta, no Canadá, de valiosa jazida de fluorita com TR associadas, o conhecimento atual da estrutura de mineração/produção de TR na CEI e as características geológico-metalogenéticas dos depósitos da China e Austrália, sugerem a existência de caminhos alternativos para a produção e industrialização de TR no Brasil.

A fluorita de Yukon merece atenção especial. Trata-se de importante jazida polimetálica com 1,5 milhão de toneladas de minério fluorítico, contendo: 1,37% de lantanídeos; 1,10% de ZrO_2 ; 0,62% de Nb_2O_5 ; 0,15% de Y_2O_3 e 0,03% de HfO_2 . (RIC Insight, vol.6, nº 4) A jazida de fluorita de Mato Preto (PR), com TR, deveria dar lugar a estudos de avaliação para defini-la como possível fonte de TR.

A experiência russa também deve ser analisada com atenção, dado que: i) toda a produção de TR no país resulta de minérios inabituais, nos quais as TR são subproduto ou coproduto e, mesmo assim, apenas EUA e China têm maior produção; ii) os recursos de TR estão concentrados principalmente em titano-niobatos (loparita), rochas fosfáticas (apatita, monazita) e fluorcarbonatos (itrio-synchisita); iii) a loparita é a fonte de TR mais importante na CEI (dela resultam 6500t/ano de produtos de TR, incluindo óxidos individuais; iv) a produção total de OTR, na CEI, é de 8.500t/ano e as reservas totalizam 21,4 milhões de toneladas; v) o déficit de ETRy é resolvido com a mineração e beneficiamento de itrio-synchisita. (Kosynkin et al, 1992)

A existência de importantes depósitos do tipo "adsorção iônica" no sul da China, as suas características e o seu ambiente geológico também devem merecer análise atenta (no Brasil é bem provável que existam condições análogas), pelos teores (citados como altos, mas não especificados), predomínio de TR pesadas e itrio, facilidade e baixos custos de extração. (RIC Insight, vol. 5 nº 7) No Brasil deveriam ser feitas pesquisas intensas em regiões geológico-morfo-climáticas idênticas às que condicionaram a formação dos depósitos chineses da província de Jiangxi, a 10 km ao sul da cidade de Longnan: i) granitos intrusivos comuns (mas enriquecidos em TR), de granularidade média, tendo como minerais essenciais: quartzo, K-feldspato, muscovita e/ou biotita, em Zudong; quartzo e K-feldspato, em Guanxi, ii) topografia suave, constituída por colinas de 300 - 400m, com formas arredondadas e

declives inferiores a 15°, iii) clima quente e úmido, com uma precipitação anual de 1580mm, proporcionando condições muito favoráveis à formação de crostas de intemperismo, compostas essencialmente por argilas (halloysita e caulinita). A camada superficial ácida (ph 4,4 - 5,2), devido à abundância de matéria orgânica (ambiente lixiviador de TR), dá lugar, em subsuperfície, a meio neutro e a significativo enriquecimento de TR, adsorvidos nos minerais argilosos. (Chengyu et al, 1990)

Outro caso que deve ser analisado atentamente, pela sua semelhança em relação ao Brasil, é o dos lateritos desenvolvidos sobre o complexo carbonatítico de Mount Weld na Austrália. Contém reservas de TR de: i) 15,4 milhões de toneladas com 11,2% de OTR para um "cut-off" de 5%; ii) 1,31 milhão de toneladas com 23,6% de OTR usando um teor de corte de 20%. (Lottermoser, 1991) Hoje é considerada uma das mais importantes jazidas de TR no mundo.

A definição de uma política mineira para as TR, no Brasil, não deve deixar de levar em consideração os caminhos seguidos pela CEI, China, Canadá, Austrália e pela própria CVRD, que iniciou um projeto em Tapira, atualmente suspenso. Deduz-se, por analogia e pelo que já é conhecido no País, que é grande o seu potencial para produção de TR a partir de lateritos e silixitos, desenvolvidos sobre complexos carbonatíticos, e como subproduto de outros bens minerais, nomeadamente apatitas ígneas, anatásio, colofanito e fluorita. (Barbosa e Lapido-Loureiro, 1993; Lapido-Loureiro e Newmann, 1993; Neumann e Lapido-Loureiro, 1993)

Chegou o momento de o Brasil, com imensos "recursos identificados" de TR e uma tradição que tem vindo a perder, repensar qual é a posição que quer assumir no mundo desses elementos estratégicos. Analise-se e pense-se, com espírito prospectivo, os dados apresentados nas Tabelas 51 e 52.

Já existe um fórum congregador para debater a problemática das TR no Brasil e divulgar/permutar conhecimentos e experiências. Compete aos seus membros expressarem vontades, definirem rumos, planejarem ações e executarem idéias de forma pragmática e construtiva, somando, e não sobrepondo esforços. É importante e urgente que se estabeleça uma

política para as terras-raras e outros elementos de alta tecnologia no Brasil.

BIBLIOGRAFIA

1. ABREU, V.A. de. Investigação prospectiva na indústria das terras-raras. Subsídio para políticas de gestão em minerais/materiais estratégicos. Campinas, UNICAMP, 1991. Tese (Mestrado).
2. ALCOVER NETO, A.; TOLEDO-GROKE, M.C. Caracterização preliminar da evolução supérgena das rochas carbonatíticas do complexo alcalino-carbonatítico de Juquiá(SP), com enriquecimento em fosfatos. In: Congr. Brasil. Geoquímica., 2., 1989. p.479-486.
3. ARGALL, G.O. Three iron ore bodies of Bayan Obo, World Min., v.33, n.1, p.38-41, 1980.
4. BAECKER, M.L. A mineralização de nióbio do solo residual laterítico e a petrografia das rochas ultramáficas-alcalinas do domo de Catalão, I Goiás. Brasília: UNB, 1983. Tese (Mestrado).
5. BAETA, S. O longo caminho da tecnologia. Minérios, p.68-71, out. 1988.
6. BARBOSA, J. P. e LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Rare Earth in Brazil: deposits, identified resources and politics: In: Rare Earth Minerals: Chemistry, origin and Ore Deposits. Miner. Soc. of Gr. Britain and Ireland and Nat. Hist. Mus., 1993, p. 7-9, Londres.
7. BESSLER, K.E. e ZAMBAZI, R. C. Aproveitamento de fosfatos de alumínio (minério de Trauíra e Pirocaua) para obtenção de ácido fosfórico: In: SBPC, 35., Belém, 1983. Resumos, p. 25-D.2.7.
8. BETTENCOURT, J.S. et al. Depósitos estaníferos secundários da região central de Rondônia. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CVRD, 1988. v.3, p.213-41.

9. BIONDI, J.C. (1986). Depósitos de minerais metálicos de filiação magmática. [S.P.]: T. A. Queiroz, 1986.
10. BONOW, C.W., ISSLER, R. S. Reavaliação e aspectos econômicos de jazimentos de terras-raras e ferro-ligas ao lago Esperança, complexo carbonatítico de Seis Lagos-Amazonas-Brasil. In: Congr. Bras. Geol., 31., Camboriú, 1980. Anais. Camboriú: SBG, 1980. v.3, p.1431-443.
11. BOUISSIERES, M. et al. Nouveau traité de chimie minérale. Paris: Masson, 1959. t.8: Sc-Y-ETR-Ac.
12. BRILL, K.J. Mass extraction and separation. In: Eyring, L. (ed) Progress in the science and technology of rare earths. [s.l.]: Pergamon, 1964. p.30-61.
13. CARVALHO, W.T. de. Recursos minerais do complexo ultramáfico-alcalino de Catalão I. In: Congr. Bras. Geol., 27., 1974. Anais. [s.l.]: SBG, 1974. v.6, p.165-184.
14. CASTRO, L. O.; SOUZA, J.M. Estudo da mineralização de urânio e terras-raras associadas ao nióbio de Araxá. Belo Horizonte: I.P.R., 1970. (Rel. Int.).
15. CLARK, A.M. Mineralogy of the rare earth elements. In: Hendersen, P. Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984. 510p. p.33-61.
16. CORREA, G.V. Diatremas na região de Bambuí. In: Congr. Bras. Geol., 25., 1971. Anais. [s.l.]: SBG, 1971. v.2, p.103-109.
17. COSTA, M.L. da; SIQUEIRA, N.V.M. Correlações geoquímicas entre apatita e crandalita. Revista Escola de Minas, v.41, n: 1-4, p.231-239, 1988.
18. CULLERS, R.L.; GRAF, J.L. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominantly basic and ultrabasic rocks.

- In: HENDERSON, P. Rare earth elements geochemistry, Amsterdam: Elsevier, 1984. 510 p.p. 237-273.
19. Projeto Titânio. CVRD Revista, v.7, n.23, p.15-30, 1986.
 20. EBY, G.N. Abundance and distribution on the rare-earth elements and yttrium in the rocks and minerals of the Oka carbonatite complex. Quebec. Geoch. et Cosmoch. Acta, v.39, p. 597-620, 1975.
 21. FALCONNET, P. The rare earth industry - problems and prospects. ERZMETAL, v.42, n.9, p.416-421, 1989.
 22. FERNANDES, M.D. Estudo das possibilidades de aproveitamento do depósito de terras-raras de Araxá, Minas Gerais. Belo Horizonte: I.P.R., 1975. 112p. (Rel. Int.)
 23. FIGUEIREDO, C.M., LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Projeto Fontes Alternativas de Terras-Raras: Peixe(GO). São Paulo: NUCLEMON, 1984 (Rel. Int.).
 24. FIGUEIREDO, C.M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (1984). Projeto Fontes Alternativas de Terras-Raras: Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG). São Paulo, NUCLEMON/NUCLEBRÁS (Rel. Int.).
 25. FIGUEIREDO, C.M., LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Projeto Fontes Alternativas de Terras-Raras: Bambuí (MG). São Paulo: NUCLEMON/NUCLEBRÁS, 1985. 15P. (Rel. Int.).
 26. FIGUEIREDO, FILHO, P. de Miranda de. Análise das reservas de minerais pesados da NUCLEMON/NUCLEBRÁS frente às perspectivas de mercado dos produtos da NUCLEMON. São Paulo, NUCLEMON, 1986. (Rel. Int.)
 27. FLEISCHER, M. Some aspects of the geochemistry of yttrium and the lanthanides. Geoch. Cosmoch. Acta, v. 29, p.755-772, 1965.
 28. FLEISCHER, M. Relative proportions of the lanthanide in the minerals of the bastnaesite group. Can. Miner., v.16, p.361-363, 1978.

29. FLEISCHER, M.; ALTSCHULER, Z.S. The relationship of the rare-earth composition of minerals to geological environment. Geoch. Cosmoch. Acta, v.33, p.725-732, 1969.
30. FRANKEL, M.O. et al. Jazida de urânio do Planalto de Poços de Caldas - Minas Gerais. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, Brasília: DNPM/CVRD, 1985. v.1, p.89-103.
31. FRAYHA, R. Urânio e Tório no Planalto de Poços de Caldas. B. Departamento Nacional da Produção Mineral. DFP. Rio de Janeiro, n. 116, 1962. 75p.
32. FUJIMORI, K. Silicato de terras-raras (Ce, La, Nd, Cs, Th) SiO₄ e cheralita (Th, Ca, Ce, La) (PSi)O₄, minerais responsáveis pela anomalia do Morro do Ferro, Poços de Caldas, MG. In: Congr. Brasil. Geol., 32., Salvador, 1982. Anais, Salvador: SBG, 1982, v.2, p.669-672.
33. FUJIMORI, K. Minerais toríferos do Morro do Ferro, Poços de Caldas - MG. In: Congr. Bras. Geol., 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.9, p.4446-452.
34. GINZBURG, A.N.; ZDORIK, T.B.; FELDMAN, L.G. Rare-metal carbonatites and rare-metal pegmatites. Intern. Geol. Rev., v.21, n.3, p.291-298, 1979.
35. GOMES, C.B.; RUBERTI, E; MORBIDELLI, L. Carbonatite complexes from Brazil: A review. Journ. South. Am. Earth Sciences, v.3, n.1, p.51-63, 1990.
36. GROSSI SAD, J.H.; TORRES, N. (1976). Geology and mineral resources of the Barreiro Complex, Araxá, Brasil. Intern. Symp. on Carbonatites, 1., 1976. Field Trip Guidebook.
37. GSCHNEIDER Jr., K.A. (1989 a) Rare Earth Information Center, Insight, v.2, n.1, p.1-2, 1989.
38. _____. Rare Earth Information Center, Insight, v.2, n.5, p.1, 1989.
39. GUIMARÃES, Djalma. Rocha torífera do Onça, sul de São João del Rei, MG. Eng. Miner. e Metal., v.23, n.5, p.231, 1956.
40. _____. Concentrados estaníferos do Município de São João del Rei. B. Departamento Nacional da Produção Mineral. DFP, Rio de Janeiro, n.99, p. 43-72, 1956.
41. GULBRANDSEN, R.A. Chemical composition of phosphorites of Phosphoria Formation. Geoch. Cosmoch. Acta, v.30, p.769-778, 1966.
42. HABASHI, F.; AWADALLA, F.T. In situ and pump leaching of phosphate rock. Ind. Eng. Chem. Res., v.27, p.2165-169, 1988.
43. HABASHI, F.; AWADALLA, F.T., ZAILAF, M. The recovery of uranium and the lanthanides from phosphate rock. J. Chem. Tech. Biotechnol., v.36, p.259-267, 1986.
44. HEDRICK, J.B. Rare earth metals. Mineral Commodity Summaries, U.S.B.M., p.128-129, 1989.
45. HENDERSON, P. (ED.) Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984. 510P. (Developments in Geochemistry, 2).
46. HINTON, B.R.W. Corrosion inhibition with rare earth metal salts. J. of Alloy and Compounds, v.180, p. 15-25, 1992.
47. HUMPHRIS, S.E. (1984) The mobility of the rare earth elements in the crust. In: HENDERSON, P., Rare earth element geochemistry, Amsterdam: Elsevier, 1984. 510p.p. 317-342.
48. SINO-ASIA appointed RE agent. Industrial Minerals, n.291, 1991.

49. ISSA FILHO, A.; LIMA, P.R.A. dos S.; SOUZA, O.M. de. Aspectos da geologia do complexo carbonatítico do Barreiro, Araxá, MG, Brasil. In: Complexos carbonatíticos do Brasil: geologia. São Paulo: CBMM, 1984 p.21-44.
50. IWANUCH, W.; SVISERO, D.P.; SOUZA, I.M. O minério de zircônio do complexo alcalino de Peixe-Goiás. Congr. Bras. Geol., 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.8, p.3831-840.
51. JAFFE, M.; SELCHOW, D.W. Mineralogy of the Araxá Columbitum deposit. Tuxedo, N.Y.: Union Carbide Ore, 1960. (Research Report nº 4).
52. JONES, A.P.; WYLLIE, P.J. Low temperature glass quenched from synthetic rare earth carbonatite: implications for the origin of Mountain Pass deposit, California. Econ. Geol., v.78, p.1721-723, 1983.
53. KOSYNKIN, V.D.; MOISEEV, S.D.; PETERSON, C.H.; NIKIPELEV, B.H., The commonwealth of Independent states rare earths industry. Elements. v.1(1) p.12-15, 1992.
54. KOURY, W. ANTONIETTO Jr., A. Mina de estanho de Pitinga, Amazonas. In: Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília DNPM/CVRD, 1988. V.3, P.201-211.
55. LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Relatório de viagem às regiões de Mato Preto e Barra do Rio Itapirapuã. Rio de Janeiro, NUCLEBRÁS, 1977 (Rel. Int.).
56. _____, Urânio associado a rochas fosfáticas: pesquisa de métodos. Rio de Janeiro: NUCLEBRÁS, 1980. (Rel. Int.).
57. _____, Fontes Alternativas de Terras-Raras. Radiometria aplicada a prospecção de TR: vôo de helicóptero ao longo do litoral Rio de Janeiro/Fortaleza e na região de Tutóia. São Paulo: NUCLEMON, 1985. (Rel. Int.).

58. _____, Amostras de minerais e rochas para testes de aplicação do método de detecção de terras-raras por cromatografia: utilização de papéis Arsenazo. Rio de Janeiro, CPRM, 1991. 16p. (Rel. Int.).
59. LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; FIGUEIREDO, C.M.V. de (1984). Fontes alternativas de terras-raras: Mato Preto, (PR)/Barra do Rio Itapirapuã (SP-PR). São Paulo NUCLEMON/NUCLEBRÁS, 1984 (Rel. Int.).
60. _____; _____, Relatório de viagem à região de Bambuí. São Paulo: NUCLEMON/NUCLEBRÁS, 1984. 10p., 1 mapa. (Rel. Int.)
61. _____; _____, Fontes alternativas de terras-raras: complexos ultrabásico-carbonatíticos de Catalão (GO). São Paulo NUCLEMON /NUCLEBRÁS, 1985 (Rel. Int.).
62. _____, _____, Fontes alternativas de terras-raras: complexo carbonatítico de Barreiro-Araxá (MG). São Paulo: NUCLEMON/NUCLEBRÁS, 1985 (Rel. Int.)
63. _____, _____, Fontes alternativas de terras-raras. Relatório de viagem a Xambioá, Boca Nova e Salinópolis. São Paulo: NUCLEMON, 1985 (Rel. Int.).
64. _____, _____; TOREZAN, M.J. Os elementos de terras-raras nos complexos carbonatíticos brasileiros. In: Formoso, M.L.L. (ed.), et al, Geoquímica dos elementos terras-raras no Brasil. Rio de Janeiro, CPRM/DNPM/SBGq, 1989. p.47-59.
65. _____, _____; SANTOS, R.C. dos. The intra-intrusive uranium deposits of Poços de Caldas, Brazil. Ore Geology Reviews, v.3, p.227-240, 1988.
66. _____, NEUMANN, R. Terras-Raras no Brasil: revisão dos conceitos de minérios, depósitos e reservas associados a

- complexos carbonatíticos (mineralogia, geoquímica, metalogenia). In: Congr. Bras. Geoquím., 4, 1993. Vol. Res. Exp.: SBGq, 1993, p. 142-143.
67. _____; TAVARES, J.R. Duas novas ocorrências de carbonatitos: Mato Preto e Barra do Rio Itapirapuã. Rev. Bras. Geoc., v.13, n.1, p.7-11, 1983.
68. LAPIN, A.V.; PLOSHKO, V.V.; MALYSHEV, A.A. Carbonatites of the Tratar deep-seated fault zone, Siberia. Int. Geol. Rev., v.29, p.551-567, 1987.
69. LEE, K.Y. Some rare-element mineral deposits in mainland China. Bull. U.S. Geol. Survey, n. 1312-N, 1970. 34p.
70. LOTTERMOSER, B.G. Rare earth element mineralization withing the Mt. Weld carbonatite laterite, Western Australia. Lithos, v.24, p.151-167, 1990.
71. _____, Rare earth element resources and exploration in Australia. The Aus IMM Proceedings, n.2, 1991.
72. LOUNAMAA, N.; MATTILA, T.; JUDIN, V.P.; SUND, H.E. Recovery of rare earths from phosphate rock by solvent extraction. Proc. In: Int. Congr. on Phosphorus Coumpounds, Paris, 1980. Proceedings. Paris: Inst. Mondial du Phosphate, 1980. p. 2, Paris, 1980.
73. MACIEL, A.C. e CRUZ, P.R. Perfil analítico do tório e terras-raras. B. Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, n. 28, 1973. 72p.
74. MARIANO, A.N. Nature of economic mineralization in carbonatites and related rocks. In. Keith, Bell (ed.) Carbonatites. Genesis and Evolution, [s.l.: s.n], 1989, p.149-76.
75. MENDES, M.J.C.; MURTA, C.C.; CASTRO, L.O. Mineralogia do depósito de terras-raras, nióbio e urânio na Área Zero, Araxá, MG. Belo Horizonte: IPR, 1968. (Rel. Int.).
76. MENDONÇA, J.C.G.S. et al. Jazida de urânio de Itataia - Ceará. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CVRD, 1985. V.1, P.121-31.
77. MIEKELEY, N.; VALE, M.G.R.; TAVARES, T.M. E LEI, W. Some aspects of influence of surface and ground water chemistry on the mobility of thorium in the Morro do Ferro environment. In: Int. Symp. on the Scientific Basis for Nuclear Wastes Management, 19982. v.5, p.725-744.
78. MOLLER, P.; CERNY, P.; SAUPÉ, F. (eds.) [Berlim]: Spring-Verlag, 1989. Lanthanides, Tantalum and Niobium.
79. MOLLER, P.; MORTEANI, G.; SCHLEY, F. Discussion of REE distribution patterns of carbonatites and alkalic rocks. Lithos, v.13, p.171-79, 1980.
80. MORTEANI, G. The rare earths: their minerals, production and technical use. Eur. J. Mineral., v.3, p.641-650, 1991.
81. MURATA, K.J.; ROSE, H.J.; CARRON, M.K. Systematic variation of rare earths in monazite. Geoch. Cosmoch. Acta, v.4, p.292-300, 1953.
82. MURATA, K.J., et al. Systematic variation of rare earth in cerium-earth minerals Geoch. Cosmoch. Acta, v.11, p.141-161, 1957.
83. NEARY, C.R. I HIGHLEY, D.E. The economic importance of the rare earth elements. In: HENDERSON, P. (ed.). Rare elements in geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984. 510 p.p. 423-465.
84. NEUMANN, H.; JENSEN, B.B.; BRUNFELT, A.O. Distribution patterns of rare earth elements in minerals. Nor. Geol. Tidsskr., v.50, 357-373, 1966.

85. NEUMANN, R.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Caracterização mineralógica e litogeoquímica dos depósitos de elementos de terras-raras do Córrego do Garimpo (Catalão, Go), Morro do Ferro (Poços de Caldas, MG) e Barreiro-Arafertil (Araxá, MG). In Congr. Bras. Geoquím., 4, 1993. Vol. Res. Exp.: SBGq, 1993, p.189-192.
86. NUCLEBRÁS. Projeto Açungui/Mapeamento Geológico. Rio de Janeiro, 1978. (Rel. Int.).
87. PARAÍSO Filho., O. de S.; FUCCIO Jr., R. A mina de niobium de Araxá. São Paulo: CBMM, 1982, trad. de Mining Magazine, v.151, n: 4, Oct., 1984. 8p.
88. PAVLENKO, A.S.; ORLOVA, L.P.; AKHMANOVA, M.V., TOBELKO, K.I. Thorium fluorcarbonate, thorbastnasite. Mem. All-Union Mineral. Soc., v.94, p.105-113, 1965.
89. PEI-SHAN, Z. Mineralogical Research of the Bayan-Obo rare earth-niobium-iron ore deposit. Journal of Rare Earths, v.9, n.3, p.221-225, 1991.
90. POLLARD, P.J. Petrology and geochemistry of granites associated with Nb, Ta and REE mineralization. In: Workshop REE, Berlim, 1986. Ta and Nb, 13p.
91. PREINFALK, C.M.; MORTEANI, G. The industrial applications of rare earth elements. In: Moller, P.; Cerny, P.; Saupé, F. (eds) Lanthanides, Tantalum and Niobium. Berlim: Springer-Verlag, 1989.
92. RARE EARTH DEVELOPMENT CENTER FOR AGRICULTURE TECHNIQUE. Rare earth changle. Beijing, 1991. R.I.C. Insight. Ames, IOWA.
93. ROBINSON, W.O. The presence and determination of molybdenum and rare-earths in phosphate rock. Soil Sci., v.66, p.317-322, 1948.

94. ROLFF, P.A.M.A. Possibilidades econômicas da monazita de São João del Rei. Rev. Esc. Minas Ouro Preto, v.13, n.4, p.15-18, 1948.
95. _____, Notas sobre alguns minerais radioativos em São João del Rei. Rev. Esc. Minas Ouro Preto, v.16, n.6, p.7-8, 1951.
96. _____, Urânio e Tório em São João del Rei. Rev. Esc. Minas Ouro Preto, v.17, n.2, p.11-12, 1952.
97. _____, Geologia da província estano-litínifera do Rio das Mortes - Minas Gerais. Rev. Esc. Minas Ouro Preto, v.17, n.6, p.3-12, 39-40, 1952.
98. ROSE, E.R. A field test for rare-earth elements. Geol. Surv. Canadá, 1976. (Paper 75/16).
99. ROSKILL. The economics of rare earths and yttrium. [London], 1984.
100. SAMPAIO, J.A.; LINS, F.F., PORPHÍRIO, N.H. Concentração de minérios de terras-raras de Poços de Caldas - MG. Rio de Janeiro: CETEM, 1989. (RP 11/89).
101. SANTOS, R.V. Geologia e geoquímica do depósito de fluorita do complexo alcalino-carbonatítico de Mato Preto - Paraná. Brasília: UNB; 1988. Tese (Mestrado).
102. SCHEIBE, L.F. Fazenda Varela carbonatite, Lages, Santa Catarina, Brazil. In: Simp. Intern. Carbonatitos, 1., 1978. Anais, p.137-146.
103. SCHEIBE, L.F. Estudo petrológico e geoquímico dos carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC, Brasil [s.l.: s.n.], 1979.
104. _____, Geologia e petrologia do Distrito Alcalino de Lages, SC. São Paulo: Inst. Geoc., USP, 1986. 224p. Tese (Doutorado).

105. _____, FORMOSO, M.L.L. Contribuição da geoquímica das terras-raras à caracterização dos carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC. Rev. Bras. Geoc., v.12, n.4, p.553-561, 1982.
106. SEMENOV, E.I. Isomorphism and camouflage of rare earths. Geochemistry (U.S.S.R.), p.735-748, 1957.
107. _____, Relationship between composition of rare earths and composition and structure of minerals. Geochemistry (U.S.S.R.), p.574-586, 1958.
108. SILVA, A.B. da. Relatório final de pesquisa [Brasília]: DNPM, 1978. (DNPM; 802.268/70).
109. _____, Araxá, uma reserva inesgotável de nióbio. Contr. Geol. Petr. SBG - Núcleo de Minas Gerais, p.175-179, 1985.
110. _____, Geologia e petrologia do complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil), uma associação carbonatítica precambriana. Geochimica Brasiliensis, v.2, n.1, p.81-108, 1988.
111. SILVA, D.C.D.; OLIVEIRA, L.M. de Projeto Barra do Rio Itapirapuã. [Curitiba]: MINEROPAR, 1984. (Rel. Int.).
112. SILVA, Luciano L. da. Projeto São Francisco, mapeamento geológico. [Rio de Janeiro]: NUCLEBRÁS/ECUR, 1980 (Rel. Int.)
113. SCOROVAROV, J.I.; KOSYNKIN, V.D., MOISEEV, S.D., RURH, N.N. Recovery of rare earth elements from phosphorites in the USSR. J. Alloys and Compounds, v.180, p.71-76, 1992.
114. SMIRNOV, V.I. (Ed.) Geology of mineral deposits. [s.l.]: Mir. Publishers, 1976, 520p.
115. SMIRNOV, F.L. Geological-geochemical principles and criteria in the search for endogenous apatite deposits. Intern. Geol. Rev., v.29, n. 12, p. 1473-480, 1987.
116. SOUZA, I.L.A. e PAIXÃO, J.E. Estudo de impacto ambiental. Projeto Rio Sapucaí. Miner. e Metal., v.53, n.506, p.9-14, 1989.
117. SOUZA, O.M. de. Relatório final de pesquisa da área Catalão I - GO. [Brasília]: DNPM, 1982. (DNPM; 801.562/68).
118. _____, Relatório final de pesquisa para minério de nióbio. Catalão II - GO. [Brasília]: DNPM, 1979 (DNPM, 803.343/73 e 803.344/73).
119. TANG, D.X. Rare earth aluminum alloys. J. Rare Earths, v. 10, n.66, 1992.
120. TOUGNET, J.P. Some aspects of the rare earths industry. In: Simp. Intern. de Minerais e Metais Estratégicos, 1, Rio de Janeiro, 1987. 14p.
121. UTSUMI, O.; OLIVEIRA, A.G. de PARISI, C.A.; WILLIAM, D.D. In: Congr. Bras. Geol., 25, 1971. Anais. [s.l.]: SBG, 1971. v.2, p.7-13.
122. VALARELLI, J.V. O minério de nióbio, titânio e terras-raras de Catalão, GO. São Paulo: Inst. Geoc., USP, 1971. Tese (livre Doc.).
123. VANUZZI, A. L.; VASCONCELLOS, D.P.; ABRAHÃO, J.R.S.; TOREZAN, M.J. Jazidas de minerais pesados no litoral norte do estado do Rio de Janeiro e sul dos estados do Espírito Santo e Bahia. In: Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro: SBG, 1984, v.8, p.3907-916.
124. VIJAYAN, S.; MELNYK, A.J.; SING, R.D.; NUTTALL, K. Rare earths: Their mining, processing, and growing industrial usage. Mining Engineering, v. 41, n.1, p.13-18, 1989.
125. VLASOV, K.A. Ed. Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits. Israel Progr. for Scient. Transl., Jerusalem: [s.n], 1966, 3v.

126. WABER, N. The supergene thorium-rare earth deposit at Morro Velho, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. Bern: Miner. Petrogr. Inst., 1992. 36p. (pré-print).
127. WEDOW Jr., H. The Morro do Ferro thorium and rare earth ore deposits, Poços de Caldas District, Brazil. U.S. Geol. Surv. Bull., Washington, n.1185-D, 1967. 34p.
128. ZHOU, Z. et al. On the geological characteristics and the genesis of the dolomitic carbonatites at Bayan Obo, Inner Mongolia. Geological Review, v.26, n.1, p.35-42, 1980.

ANEXOS

Tabela 1 - Tabela de Mendeleev com destaque para o grupo das TR.

A																B																																																					
I	II III										IV V VI VII						VIII			I II III			IV V VI VII VIII																																														
H	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
K	Cs	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																			
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																					
Fr	Ra	Ac																																																																			

Tabela 2 - Estrutura eletrônica dos ETR.

NÍVEL	SUBNÍVEL	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
K	1s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L	2s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2p	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
M	3s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3p	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	3d	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
N	4s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	4p	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	4d	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	4f	0	2	3	4	5	6	7	7	9	10	11	12	13	14	14
O	5s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	5p	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	5d	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P	6s	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabela 3 - Teores de ETR do minério do Morro do Ferro e de bastnasitas*

BASTNASITAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La ₂ O ₃	28,0	32,0	33,2	28	35	25	25,4	29,4	39
CeO ₂	40,6	49,0	49,1	51	53,7	50	53,3	48,8	45
Pr ₆ O ₁₁	4,2	4,4	4,3	4,8	3,2	5,6	5,4	4,4	3,3
Nd ₂ O ₃	12,8	13,5	12,0	14	8	18	14,6	15,4	11
Sm ₂ O ₃	1,1	0,5	0,78	1,0	0,1	0,9	1,0	1,3	0,8
Eu ₂ O ₃	0,15	0,1	0,11	0,1	-	-	-	-	0,1
Gd ₂ O ₃	1,2	0,3	0,17	0,5	-	0,5	-	0,5	0,5
Tb ₄ O ₇	< 0,05	0,1	0,016	-	-	-	-	-	0,1
Dy ₂ O ₃	0,04	0,1	0,031	0,3	-	-	-	-	0,3
Ho ₂ O ₃	0,1	0,1	0,05	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	0,1	0,1	0,035	-	-	-	-	-	0,1
Tm ₂ O ₃	0,1	0,1	0,0008	-	-	-	-	-	-
Yb ₂ O ₃	< 0,05	0,1	0,0013	-	-	-	-	-	-
Lu ₂ O ₃	-	0,1	0,0001	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	1,5	0,1	0,09	-	-	-	0,3	0,2	-
ThO ₂	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-
U ₂ O ₃	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-
	(a)	(b)	(c)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)

* Indica-se a rocha que contém a bastnasita

1. Morro do Ferro - solo resultante de intemperismo de rochas alcalinas
2. Mountain Pass - carbonatito
3. Mountain Pass - carbonatito
4. Narsarsuak (Groenlândia) - alcali-sienito pegmatito
5. Urais - alcali-sienito (hidrotermalito)
6. Sibéria - alcali-granossienito (hidrotermalito)
7. Pikes Peak (Colorado) - pegmatito granítico
8. Karonje (Ruanda Urundi) - granito (hidrotermalito)
9. Sibéria - crosta de intemperismo de maciço alcalino

Fontes: (a) NUCLEMON; (b) Roskill, 1984; (c) P. Henderson, 1984; (d) Vlasov ed., 1966.

Tabela 4 - Teores de ETR e de Th em monazitas

TR ₂ O ₃	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
La	23,7	-	20,5	22,5	23,2	23,1	22,0	21,2	20,4	21,7	26,7	35,9
Ce	45,6	-	40,6	47,6	48,3	48,5	44,0	43,2	40,0	43,5	49,6	50,9
Pr	5,0	-	4,5	4,3	4,3	4,3	3,8	4,1	3,6	4,1	4,4	3,0
Nd	17,2	-	16,1	16,4	16,8	16,7	14,3	15,6	15,5	15,0	15,9	8,34
Sm	2,5	-	3,1	3,0	3,0	2,9	2,7	3,1	2,7	2,1	1,3	0,5
Eu	0,05	-	0,1	0,04	0,04	0,04	0,1	0,2	0,1	0,05	0,12	0,034
Gd	1,5	-	1,6	2,0	1,9	1,8	1,9	2,3	1,8	1,3	1,1	0,16
Tb	0,04	-	-	0,10	0,07	0,05	0,1	0,2	0,1	0,1	<0,05	-
Dy	0,68	-	-	0,90	0,70	0,70	1,2	1,2	0,9	0,7	0,1	-
Ho	0,05	-	0,9	-	-	-	0,5	0,5	0,1	0,2	<0,05	-
Er	0,21	-	-	-	-	-	0,3	0,2	0,4	0,2	<0,05	-
Tm	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	0,12	-	-	-	-	-	0,1	0,1	0,4	0,05	<0,05	-
Lu	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	2,4	-	1,9	2,70	1,40	1,40	2,3	2,3	2,7	1,5	0,30	0,16
Th	-	-	10,7	-	-	-	9,6	9,4	11,3	9,5	-	-
R ₂ O ₃	-	64,6	65,0	64,00	66,0	64,00	68,55	62,60	57-60	66,4	-	-
ThO ₂	-	7,0	7,0	4,50	6,0	5,00	6,6	5,9	7,0	6,3	0,46	0,49
	(a)	(b)	(b)	(c)	(c)	(c)	(b)	(b)	(b)	(b)	(c)	(c)

Placers marinhos: A - Austrália; B - Cable Sands (Austrália); C - West Austrália; D - Bahia; E - Espírito Santo; F - Rio de Janeiro; G - Beberibe - CE; H - Luiz Correia - PI.
Outros Tipos: I - Jiagshi (China); J - Sapucaí - MG; K - Catalão - GO (minério); L - Peixe - TO
(a) In: P. Henderson, 1984; (b) Fonte: SAMITRI, 1990; (c) Fonte: NUCLEMON.

Tabela 5 - Teores de ETR (em xenotímios de "placers", pegmatitos, rochas graníticas e rejeito de urânio)

OTR	A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
La	-	-	-	-	0,5	-	-	6,7	-	0,6	-	0,3	-	0,8
Ce	0,075	0,050	0,121	-	5,0	1,112	-	15,3	-	2,5	-	0,7	-	3,7
Pr	-	0,093	0,057	-	0,7	0,102	-	2,3	-	-	-	0,05	-	1,0
Nd	0,009	0,093	0,100	-	2,2	0,819	-	8,7	0,6	0,7	0,6	0,2	-	4,1
Sm	0,009	0,408	0,285	2,0	1,9	0,819	-	3,3	0,8	1,5	1,1	1,2	1,6	4,5
Eu	0,009	0,015	0,051	-	0,2	0,063	-	-	-	0,3	-	0,6	-	0,2
Gd	1,14	1,11	1,167	3,5	4,0	3,649	1,8	3,9	1,5	6	3,2	8	5,4	8,5
Tb	2,42	0,80	0,95	1,2	1,0	1,006	0,9	0,7	0,8	1	1,1	1,5	1,5	1,2
Dy	9,78	10,26	10,41	9,7	8,7	7,59	7,8	5,8	8,2	8	8,4	14	10,2	11,2
Ho	3,06	3,12	3,70	3,0	2,1	2,01	1,8	1,2	1,1	2,3	2,1	3,5	2,8	2,6
Er	13,58	14,28	13,07	7,6	5,4	6,56	6,8	4,0	8,0	7,4	6,3	12	8,7	5,5
Tm	2,78	2,87	2,71	-	0,9	1,28	1,5	-	1,9	0,7	0,6	1,6	1,4	0,9
Yb	19,71	20,84	19,30	4,9	6,2	6,06	12,5	4,4	19,3	7,9	6,3	9	11,3	4,0
Lu	2,82	2,72	2,44	1,1	0,4	0,63	3,0	-	1,6	1,1	1,4	2	2,4	0,4
Y	44,88	43,40	45,54	67	60,8	68,30	63,9	43,7	56	60	68,9	45	54,7	51,4
-	(a)	(a)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(c)

A1 - Pitinga (Hazen); A2 - Pitinga (Rhône Poulenc); A3 - Pitinga (Lille); B - Minas Gerais (pegmatito); C - Malásia; D - Austrália, Cable Sands; E - Suécia, Ytterby (pegmatito); F - Noruega, Iveland (pegmatito); G - Nigéria setentrional (granito alcalino); H - Urais (granito, eluviado); (I - Kirgizia setentrional (granito-hidrotermalito); J - Timan (granito alcalino-hidrotermalito); K - Japão, Mina Tokoyama (pegmatito); L - Canadá, Ontário (rejeitos de urânio)

Fontes: (a) - Paranapanema; (b) Vlasov ed., 1966; (c) - Roskill, 1984.

Tabela 6 - Tipos de minas em atividade: suas reservas e produção mundial de OTR.

TIPO DE DEPÓSITO	MINERAL DE MINÉRIO	RESERVAS		PRODUÇÃO	
		t	%	t	%
Hidrotermais (a)	Bastnasita	43.000.000	51,4	25.000	43,8
Magmáticos (b)	Bastnasita	12.800.000	15,1	16.000	28,0
Carbonatito (c)	Apatita	450.000	0,5	1.500	2,7
"Placers" (d)	Monazita e xenotímio	7.711.000	9,2	14.300	25,0
Outros	-	19.880.000	23,8	300	0,5
TOTAL		83.641.000	100,00	57.100	100,00

(a) Refere-se a Ilíyan Obo. A atividade hidrotermal pode estar relacionada a rochas carbonatíticas. Sendo assim, o tipo "complexos carbonatíticos" representaria 67% das reservas e 73,5% da produção de ETR.
 (b) Mountain Pass - carbonatito; (c) CEI; (d) vários países sendo a Austrália o principal.

Tabela 7 - Reservas/teores de monazita em depósitos aluvionares marinhos (areias de praia) e fluvial (São Gonçalo).

DEPÓSITOS	COMPOSIÇÃO MINERAL					RESERVAS DE MONAZITA (t)	M ROM (%)	I ROM (%)	Z ROM (%)	R ROM (%)	
	MP (%)	No MP									
		I	Z	M	R						
NORTE DE BUENA - RJ	11,7	47,2	23,3	4,2	1,8	7.692	0,49	5,51	2,72	0,21	
SUL DE BUENA - RJ	23,3	49,7	24,3	2,5	4,2	7.542	0,57	11,59	5,68	0,98	
D. DO PARAÍBA - RJ	11,9	42,0	6,0	2,8	1,0	22.797	0,33	5,0	0,71	0,20	
GUARAPARI - ES	12,2	67,9	4,2	3,4	0,8	337	0,39	7,73	0,48	0,09	
BOA VISTA - ES	11,7	48,1	17,0	8,4	0,7	1.571	0,98	5,62	1,98	0,78	
RIO SAÍ - ES	16,2	56,0	6,9	4,3	0,7	2.964	0,67	8,99	1,12	0,12	
LINHARES - ES	(a)	6,47	95,27	3,69	0,72	0,30	3.100	0,047	6,16	0,24	0,02
CUMURUXATIBA - BA		17,0	55,5	3,8	18,8	0,1	1.370	3,18	9,41	0,64	0,02
JOACEMA - BA		15,0	74,3	3,0	3,5	0,5	2.251	0,57	10,63	2,73	0,11
ALCOBAÇA - BA		11,8	72,8	5,2	3,4	0,2	4.478	0,41	8,62	0,61	0,02
BELMONTE - BA	(a)	2,86	95,68	2,11	1,24	0,97	3.600	0,035	2,74	0,06	0,03
MAJORLÂNDIA - CE	(a)	1,87	84,91	3,18	0,55	1,36	1.600	0,010	1,59	0,25	0,02
BEBERIBE - CE	(a)	1,58	81,45	15,18	1,86	1,51	20.800	0,029	1,28	0,24	0,02
PARACURU - CE	(a)	1,10	79,92	14,24	4,12	1,72	38.300	0,045	0,88	0,16	0,02
LUIZ CORREIA - PI	(a)	1,30	70,31	22,94	2,70	3,79	21.800	0,035	0,92	0,30	0,05
SÃO GONÇALO - MG	(b)	1,42	85,29	10,76	3,95	-	(b)29.300	0,056	1,21	0,15	-

MP - Minerais Pesados; I - Ilmenita; Z - Zirconita; M - Monazita; R - rutilo; ROM - "Run of Mine"

(a) - MP = I + Z + M + R

(b) - MP = I + Z + M. Contém ainda 1,173t de ouro.

Fonte: NUCLEMON, 1990; SAMITRI, 1990.

Tabela 8 a - Anomalias aerocintilométricas detectadas em linhas de vôo de helicóptero na região de Tutóia, litoral do estado do Maranhão. *

Nº DA ANOMALIA	INTENSIDADE (cps)	INTENSIDADE/BG	EXTENSÃO (cm)
01	360	3,5	5
02	300	2	1,5
03	460	3	2
03A	340	2,3	3
04	250	2,5	2
04A	170	2	5,5
05	300	3	1
06	320	3,2	1,5
06A	230	2	2,5
07	250	2,5	3,5
08	330	3,3	2
08A	200	2	5,5
09	230	2,3	4,5
10	280	2,8	4
11	350	3,5	4
12 - 13	440	4,4	5
14	270	2,7	5,5
15 (?)	260	5	0,5
16	260	2,6	2,5
17	270	2,7	4
18	270	2,2	4
19	250	2	10
20	220	1,8	2
21	190	1,7	2,5
22	190	1,9	2,5
23	210	2	2,5
24	240	2,4	5,5
25	190	3	7,5
26	300	5	5
27	180	3	2,5
46	230	2	3,5
45	220	2	2,5

*A extensão da anomalia no gráfico em cm é proporcional à dimensão no terreno.

Fonte: NUCLEBRÁS

Tabela 8 b - Anomalias aerocintilométricas detectadas em linhas de vôo de helicóptero na região de Tutóia, litoral do estado do Maranhão.*

Nº DA ANOMALIA	INTENSIDADE (cps)	INTENSIDADE/BG	EXTENSÃO
44A	200	2	2
44	200	2	2
42	180	1,8	2
42A	180	1,8	3
43	230	2,1	2,5
41	250	2,5	2,5
40	270	2,7	2,5
39	190	1,9	1,5
38	270	2,7	2
38A	200	2	1,8
38B	220	2,2	0,8
37	330	3,3	5
36	220	2,2	2,5
35	210	2	3
34	230	2,1	1
34A	230	2,1	2,3
49	280	2	1
51	250	1,1	2,5
52	230	1,1	3
53	230	1,1	0,5
54	270	2,7	2
55	210	2,1	2,2
56 - 57	200	2	6
58A	210	2,1	1,5
58	200	2	1,5
59	210	2,1	1,5
61	270	?	2,5
62	270	2,7	2,5
63	230	2,3	2
64	270	2,7	2
65	300	3	1
66	250	2,5	1,3
66A	230	2,3	1,5

* A extensão da anomalia no gráfico em cm é proporcional à dimensão do terreno.

Fonte: NUCLEBRÁS

Tabela 9 a - Anomalias aerocintilométricas detectadas em vôo de helicóptero Salvador-Fortaleza.

VÔO SALVADOR - ARACAJÚ				
Nº DE REF.	INTENSIDADE (cps)	INTENSIDADE bg	EXTENSÃO (cm)	OBSERVAÇÕES
S-A-11	170	3		Entre R. Jacuípe e Pojuquinhos/R. Jornada
S-A-2	170	3	1,5	Entre Farol e R. Saulpe
S-A-3	200	3	3,5	Entre Subaúma e R. Inhambupe
S-A-4	210	3	2	Idem, a 14cm anterior
S-A-5	240	3	1,5	Entre Seribinha e Barra da Estância
S-A-6	380	4,7	2,5	Idem, a 7cm da anterior
VÔO ARACAJÚ - RECIFE				
A-R-1	190	1,7	2,5	Entre Baripurera e Rio Sapucaí
A-R-2	180	1,7	3,5	Depois do Rio Sapucaí
A-R-3	460	3,5	2,5	Ilmenita - entre A-R-2 e a B. do Camadarire
A-R-4	220	3	5	Entre Barra do Uno e Tamandaré
A-R-5	290	4	2	Entre Tamandaré e Guadalupe
A-R-6	250	3,1	1	Entre Guadalupe e Barra do Sirianhem
A-R-7	270	4	4	Entre Barra do Sirianhem e Recife
VÔO RECIFE - NATAL				
R-N-1	280	4	5	Entre Recife e Pontinhas
R-N-2	230	3,6	1,7	Pitimú
R-N-3	340	6,5	0,5	Formação Barreiras
R-N-4	320	6	0,8	Formação Barreiras
R-N-5	240	4	3,5	Coqueirinho
R-N-6	320	6	8,5	Entre Coqueirinho e Farol da Formosa (Dunas)
R-N-7	280	4	2	Entre Coqueirinho e Farol da Formosa (Dunas)
R-N-8	170	3,4	4	Junto à Bahia do Cunhaú (ao S)
R-N-9	240	6	1,5	Ao N da Bahia do Cunhaú
R-N-10	280	4,6	1,8	Entre Tibau do Sul e Ponta Tabatinga

A extensão da anomalia no gráfico, em cm, é proporcional à dimensão do terreno. Distâncias em cm referem-se ao espaçamento nos gráficos.

Fonte: NUCLEBRÁS

Tabela 9 b - Anomalias aerocintilométricas detectadas em vôo de helicóptero Salvador-Fortaleza.

VÔO NATAL - MOSSORÓ				
Nº DE REF.	INTENSIDADE (cps)	INTENSIDADE bg	EXTENSÃO (cm)	OBSERVAÇÕES
R-N-11	210	2,6	2,8	Barra do Maxaranguape
R-N-12	200	2,5	1,6	Entre Rio do Fogo e Peroba
R-N-13	150	3	4	Entre a Ponta do Reduto e as dunas
R-N-14	270	4	0,5	Entre a Ponta do Reduto e a Ponta 3 Irmãos
R-N-15	200	4	3,3	Próximo de São Bento do Norte (ao N)
R-N-16	220	3,2	2,5	Junto a Canto do Mangue (ao S)
R-N-17	270	2	2	Entre Canto do Mangue e Farol da P. do Mel
R-N-18	200	2,2	19	Extensa Faixa com radiometria alta
VÔO MOSSORÓ - FORTALEZA				
R-N-19	260	5	2,8	Junto a Canoa Quebrada (ao N)
R-N-20	210	2,1	2,5	Junto ao Farol Maceló
R-N-21	260	3,2	1,5	Entre a Barra do Jaguaribe e Parajuru
R-N-22	250	2,8	0,5	Ao N de Parajuru
R-N-23	290	2,9	0,8	Ao N de Reboladas
R-N-24	260	3,1	0,5	Junto a uma cidade
R-N-25	240	2,4	3	Cidade ao S de Jacarecoara
R-N-26	230	3,1	2,2	Águas Belas
R-N-27	200	2	0,6	Ao S de Jacuina

A extensão da anomalia no gráfico, em cm, é proporcional à dimensão no terreno. Distâncias em cm referem-se ao espaçamento nos gráficos.

Fonte dos gráficos: NUCLEBRAS

Tabela 10 - Composição de xenotimios.

ORIGEM	OTR	Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TRCe	TRY	Th ₂ O	UO ₂	OTR - Y ₂ O ₃	
								Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅
1. PITINGA (A)	66,84	30,0	29,80	0,07	66,77	-	-	1,228	2,243
2. PITINGA (B)	63,654	27,63	31,0	0,314	63,34	-	-	1,304	2,063
3. PITINGA (C)	70,001	31,95	27,97	0,431	69,57	-	-	1,191	2,502
4. CABLE SANDS - AUSTRÁLIA	47,698	32,58	27,50	1,388	46,31	-	-	0,464	1,734
5. URAIS (GRANITO)	58,90	-	35,70	0,1	58,80	1,00	-	-	1,650
6. JOS-NIGÉRIA (GRANITO ALCALINO)	60,52	-	29,46	-	-	0,95	0,22	-	2,054
7. CAROLINA - EUA (PEGMATITO)	62,15	-	31,66	3,02	59,13	-	1,67	-	1,963
8. CAROLINA - EUA (PEGMATITO)	57,74	-	30,31	0,93	56,81	-	4,13	-	1,905
9. COLORADO - EUA (PEGMATITO)	67,78	-	32,11	-	67,78	-	-	-	2,111

1 a 4 - Fonte Paranapanema; anal.: (a) - Hazen; (b) - Rhone Poulenc; (c) - Lille
5 a 9 - In: Vlasov ed., 1966.

Tabela 11 a - Teores de concentrados e rejeitos magnéticos de separadoras dos principais distritos da Mineração Oriente Novo (RO)

Nº DE REF.	TIPO DE AMOSTRA	Sn ppm	Ti %	La ppm	Ce ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Lu ppm
01	Rejeito Separadora	> 1.000	8,86	915	1.930	1.200	151	5	21
02	Rejeito Separadora	> 1.000	5,11	300	>10.000	1.600	183	5	333
03	Rejeito Separadora	> 1.000	21,36	12	265	100	3	< 5	1
04	Rejeito Separadora	> 1.000	7,69	3.630	7.530	4.200	694	25	67
05	Pré-concentrado	> 1.000	17,48	9	125	< 50	2	< 5	1
06	Pré-concentrado	> 1.000	0,42	15	210	< 300	12	< 5	54
07	Escória Secundária	> 1.000	5,03	5.540	>10.000	3.000	896	10	109

1 - Mina Belém, Distrito Oriente Novo
2 - Mina Primavera, Distrito Oriente Novo
3 - São Lourenço, Distrito São Lourenço - Macisa
4 - Igarapé Cachoeirinha, Distrito Cachoeirinha
5 - Lateral Saubinha, Distrito São Lourenço
6 - Queimada, Distrito Cachoeirinha
7 - Bera do Brasil (Metalúrgica), Grupo Brumadinho
Fonte: Bettencourt et al, 1988.

Tabela 11 b - Teores de concentrados e rejeitos magnéticos de separadoras dos principais distritos da Mineração Oriente Novo (RO)

Nº DE REF.	TIPO DE AMOSTRA	Sn ppm	Ti %	Y ppm	Th ppm	Tb ppm	Zr ppm	Ta ppm	Nb ppm
01	Rejeito Separadora	> 1.000	8,86	400	435	15	1.460	120	400
02	Rejeito Separadora	> 1.000	5,11	5.487	4.240	74	3.100	600	5.487
03	Rejeito Separadora	> 1.000	21,36	< 20	30	< 1	40	< 10	< 20
04	Rejeito Separadora	> 1.000	7,69	2.066	1.035	77	1.300	3.040	2.066
05	Pré-concentrado	> 1.000	17,48	< 20	15	< 1	20	10	< 20
06	Pré-concentrado	> 1.000	0,42	< 20	60	< 5	600	>10,00 0	< 20
07	Escória Secundária	> 1.000	5,03	1.004	2.410	65	4.000	>10,00 0	1.004

1 - Mina Belém, Distrito Oriente Novo

2 - Mina Primavera, Distrito Oriente Novo

3 - São Lourenço, Distrito São Lourenço - Macisa

4 - Igarapé Cachoeirinha, Distrito Cachoeirinha

5 - Lateral Saubinha, Distrito São Lourenço

6 - Queimada, Distrito Cachoeirinha

7 - Bera do Brasil (Metalúrgica), Grupo Brumadinho

Fonte: Bettencourt et al, 1988.

Tabela 12 - Composição mineralógica do concentrado de Vargem Grande, Município de São João del Rei - MG

MESH	+6	+8	+10	+14	+20	+32	+48	+65	-65	TOTAL (%)
Frações em Peso %	0,6	3,8	5,7	8,9	10,0	11,9	8,2	12,5	38,4	100,0
Monazita	-	41,4	25,7	33,5	40,7	54,0	52,4	18,2	14,7	28,75
Xenotímio	-	38,6	66,7	55,0	50,0	37,0	31,5	12,0	9,0	27,05
Tantalita	-	4,8	-	-	-	-	4,7	7,9	8,5	4,81
Zirconita	-	-	-	0,3	1,3	3,0	1,5	1,2	8,0	3,86
Cassiterita	-	15,2	7,2	10,0	6,0	4,4	0,4	0,3	0,4	3,21
Magnetita	-	-	-	1,2	1,3	1,0	2,7	2,8	1,4	1,50
Granada	-	-	-	-	0,3	-	0,6	0,1	0,2	0,18
Rutilo	-	-	-	-	0,1	-	0,7	0,1	-	0,08
Ilmenita	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,01
Quartzo	-	-	0,4	-	0,3	0,4	5,5	57,4	57,8	29,94
Quartzito	100	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61
TOTAL		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Guimarães, 1956a.

Tabela 13 - Concentrado (fundo de bateia) do Córrego Laginha, Fazenda do Ouro Grosso, Distrito de Itutinga, Município de Lavras, MG.

MESH	+4	+6	+8	+10	+14	+20	+32	+48	+65	-65	TOTAL
Frações em Peso %	4,9	6,0	7,6	11,0	7,7	4,8	10,6	16,3	16,5	16,5	100,0
Cassiterita	98,3	96,3	96,2	94,3	87,7	64,2	17,7	2,7	0,7	0,7	40,7
Ilmenita	0,2	3,4	0,1	1,1	3,2	3,8	51,6	53,0	55,5	55,5	34,11
Magnetita	-	-	-	-	-	1,3	8,5	22,0	4,0	4,0	6,47
Hematita	0,1	-	0,1	0,5	0,5	8,2	4,1	-	11,8	11,8	2,88
Djalmita	0,4	0,3	0,5	0,7	3,3	6,5	3,5	3,4	0,4	0,4	1,75
Monazita	0,5	-	0,3	0,1	0,1	2,6	7,8	2,7	-	-	1,52
Pirita	-	-	-	-	-	0,6	4,7	2,4	-	-	0,96
Limonitizada	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	1,2	0,20
Zirconita	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,07
Estaurolita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
Rutilo	-	-	-	-	-	0,5	0,2	-	-	-	0,04
Cianita	-	-	-	-	-	0,7	0,1	-	-	-	0,04
Quartzo	0,5	-	2,8	3,3	5,2	11,6	1,8	-	-	-	-

Fonte: Guimarães, 1956a.

Tabela 14 - Composição mineralógica do concentrado arenoso de sondagem dos aluviões do Ribeirão Santo Antônio, Município de São João del Rei

MESH	+6	+8	+10	+14	+20	+32	+48	+ 65	- 65	TOTAL
Frações em Peso %	1,81	5,71	12,12	13,63	14,00	40,07	11,46	0,80	0,40	100,0
Granada	100,0	100,0	97,7	94,4	73,8	26,1	9,3	2,6	0,8	54,45
Granada Dec.	-	-	2,3	2,5	1,4	31,6	27,7	23,6	22,1	16,92
Tantalita	-	-	-	-	-	16,3	20,2	21,0	30,0	9,14
Cassiterita	-	-	-	-	8,6	11,6	8,7	5,6	4,7	6,92
Quartzo	-	-	-	-	1,5	6,5	11,8	16,4	10,8	4,33
Monazita	-	-	-	-	0,4	2,5	10,0	4,3	5,1	2,24
Maguella	-	-	-	-	6,5	1,0	2,6	10,9	18,0	1,81
Djalmaíta	-	-	-	-	0,6	3,4	2,8	3,7	1,5	1,70
Ilmenita	-	-	-	-	6,0	0,6	3,0	4,0	3,0	1,44
Epidoto	-	-	-	-	0,5	0,2	0,4	0,9	0,1	2,21
Estaurólita	-	-	-	-	0,7	0,2	-	-	-	0,18
Zirconita	-	-	-	-	-	-	0,5	7,0	3,2	0,14
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Rocha	-	-	-	3,1	-	-	-	-	-	0,42
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Guimarães, 1956a.

Tabela 16 - Reservas geológicas de TR do depósito do Córrego do Garimpo.

TEOR DE CORTE (REO %)	RESERVAS GEOLÓGICAS (t)	TEOR MÉDIO (%)
3	29.155.000	5,86
4	18.852.750	7,25
5	13.842.500	8,27
6	10.424.750	9,22
7	7.950.250	10,10
8	6.272.000	10,83
9	4.777.500	11,56
10	3.613.750	12,56

Reavaliação utilizando métodos de geoestatística e de krigeagem (Fonte: GOIASFÉRTIL).

Tabela 15 - Reserva de minério de TR do Córrego do Garimpo, Catalão I.

RESERVAS DE MINÉRIO EM TONELADAS

CeO ₂ + La ₂ O ₃	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	MEDIDA + INDICADA	MEDIDA + INDICADA + INFERIDA
2%	22.504.860	45.301.356	10.858.000	67.806.216	78.664.216
4%	4.624.529	10.511.719	-	15.136.248	15.136.248
6%	1.079.890	6.967.080	5.019.600	8.046.970	13.066.570
8%	676.400	2.989.332	5.019.600	3.665.732	8.685.332
10%	534.000	2.634.400	5.019.600	3.168.400	8.188.000
12%	391.600	2.064.800	-	2.456.400	2.456.400

Fonte: Carvalho, 1974. Minério idêntico ocorre também na área da Mineração Catalão de Goiás.

Estes valores deverão sofrer algum aumento, porque foram baseados em furos de sondagem com profundidades entre 30 e 50m, e em todos eles a sondagem foi interrompida em minérios com teor alto. A realização, portanto, de sondagens mais profundas poderá acarretar um aumento dessas reservas.

Tabela 17 a - Mineralogia e teores de TR de amostras do circuito da usina da GOIASFÉRTIL em Catalão - GO

TIPO DE AMOSTRA	MINERAIS IDENTIFICADOS (A) (DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X)	AMOSTRA 1 (a)		
		TEOR		
		PESO (%)	P ₂ O ₅ (%)	U ₃ O ₅ (PPM)
AM	Apatita (25), goethita (15), magnetita (15), ilmenita (15), fosfato do grupo da gorceixita (15), quartzo (10), hematita (5).	100	12,03	82
RM	Magnetita (70), ilmenita (15), hematita (10), quartzo (15).	26,5	5,0	47
LA	Goethita (55), fosfato do grupo da gorceixita (20), hematita (10), quartzo (10), ilmenita (5).	16,8	5,5	114
RF	Fosfato do grupo da gorceixita (50), ilmenita (20), quartzo (15), goethita (5), apatita (5), hematita (5)	38,5	7,4	120
CF	Apatita (90), traços de quartzo, goethita e de um mineral do grupo da gorceixita.	18,6	38,1	26

AM - Alimentação, RM - Rejeito magnético, LA - Rejeito lamas, RF - Rejeito Flutuação, CF - Concentrado final. Os valores entre parênteses representam o percentual de abundância.

(a) Fonte: NUCLEBRÁS; (b) Fonte: NUCLEMON

Tabela 17 b - Mineralogia e teores de TR de amostras do circuito da usina da GOIASFÉRTIL em Catalão - GO .

TIPO DE AMOSTRA	MINERAIS IDENTIFICADOS (A) (DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X)	AMOSTRA 2 (%) (b)		
		INSOL.	EXTRATO CLORIDRICO	
		HCP-CAL. 900°C	R ₂ O ₃	P ₂ O ₅
AM	Apatita (25), goethita (15), magnetita (15), ilmenita (15), fosfato do grupo da gorceixita (15), quartzo (10), hematita (5).	27,9	0,80	9,2
RM	Magnetita (70), ilmenita (15), hematita (10), quartzo (15).	10,9	< 0,1	1,3
LA	Goethita (55), fosfato do grupo da gorceixita (20), hematita (10), quartzo (10), ilmenita (5).	26,9	0,99	1,7
RF	Fosfato do grupo da gorceixita (50), ilmenita (20), quartzo (15), goethita (5), apatita (5), hematita (5)	52,3	0,59	4,7
CF	Apatita (90), traços de quartzo, goethita e de um mineral do grupo da gorceixita.	3,4	1,3	36,6

AM - Alimentação, RM - Rejeito magnético, LA - Rejeito lamas, RF - Rejeito Flutuação, CF - Concentrado final. Os valores entre parênteses representam o percentual de abundância
(a) Fonte: NUCLEBRÁS; (b) Fonte: NUCLEMON

Tabela 18 - Análise de 30 elementos por espectroscopia de emissão em ppm de amostras do circuito da usina da GOIASFÉRTIL em Catalão

ELEMENTO	AM	RM	LA	RF	CF
Ag	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Au	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
B	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Ba	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000
Be	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Bi	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Ca	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000
Co	160	160	160	122	34
Cr	250	720	720	136	38
Cu	122	124	124	180	54
Fe	> 10.000	> 10.000	> 10.000	> 10.000	> 10.000
Ga	33	30	42	30	19
La	> 5.000	4.380	> 5.000	4.380	> 5.000
Mg	4.700	5.200	2.900	5.200	1.520
Mn	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000	1.800
Mo	57	62	57	62	5
Nb	3.080	4.130	3.500	4.130	490
Ni	580	340	900	340	70
Pb	140	108	200	108	345
Sb	< 200	< 200	< 200	< 200	< 200
Sc	82	68	138	68	5
Sn	82	72	132	72	9
Sr	880	770	770	770	1.200
Ti	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000	> 5.000
V	270	250	186	250	104
W	< 300	< 300	< 300	< 300	< 300
Y	460	370	510	370	590
Yb	7	6	8	6	8
Zn	670	450	750	450	210
Zr	3.600	> 5.000	4.400	> 5.000	1.160

AM - Alimentação, RM - Rejeito magnético, LA - Rejeito lamas, RF - Rejeito Flutuação, CF - Concentrado Final.
Fonte: NUCLEBRÁS

Tabela 19 a - Teores (%) de La₂O₃ + CeO₂ + Y₂O₃ em níveis de 10/10m, em poços, no local Lagoa Seca - Catalão I*

Nº do Poço	NÍVEIS														
	940	930	920	910	900	890	880	870	860	850	840				
A-9	(2,05)	2,66	2,92	2,84	(4,37)										
A-13	(2,25)	2,27	3,53	3,11	(4,54)	(3,08)									
A-17															
A-21															
A-25															
C-09	(1,71)	1,96	(1,79)												
C-1	(0,97)	1,79	(1,69)												
C-9															
C-13															
C-17															
C-21															
E-9															
E-13															
E-17															
E-21															
E-25															
E-29															
E-33															
G-09	(1,80)	3,10	(3,39)												
G-1															
G-9															
G-13															
G-17															
G-21															
G-25															
G-29															
I-05															
I-1															
I-5															
I-9															

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m
Fonte: Souza, 1982.

Tabela 19 b - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ em níveis de 10/10m, em poços, no local Lagoa Seca - Catalão I*

Nº do Poço	NÍVEIS									
	940	930	920	910	900	890	880	870	860	850
I-13						(4,00)	3,54	3,16	(3,05)	
I-17									2,92	
I-21								(3,12)	(3,30)	
I-25							(2,26)	3,01	(3,02)	
I-29							(3,23)	3,46	3,58	(2,90)
K-025	(1,06)	1,05	(1,14)							
K-017	(0,69)	0,56	(1,33)							
K-09	(1,19)	1,59	2,48	3,79	3,96	(3,75)				
K-05		(1,89)	2,73	3,39	(1,58)					
K-1				(1,79)	2,41	1,86	2,75	(2,69)		
K-5					(2,39)	2,72	2,64	(2,72)		
K-9						(2,74)	3,02	2,26	(2,07)	
K-13							(3,15)	2,93	(2,99)	
K-17							(4,83)	(3,62)		
K-21							(2,80)	(2,52)		
K-25						(2,97)	2,96	(3,05)		
K-29				(2,59)	3,46	3,26	2,32	(2,66)		
L-35				(0,36)	(0,08)					
L-43				(0,12)	(0,19)					
L-51								(0,30)	0,19	(0,13)
L-59						(0,81)	(0,47)			
L-67		(0,84)	(0,55)							
L-75			(1,92)	(1,50)						
M-013	(1,04)	1,24	1,74	1,60	(1,31)					
M-09		(1,79)	2,03	2,43	2,15	(2,50)				
M-05		(1,39)	1,77	2,56	2,28	2,96	(1,94)			
M-1				(1,62)	2,19	2,40	2,07	(1,89)		
M-5					(2,44)	2,47	2,68	(2,36)		
M-9					(3,90)	3,72	2,67	(2,24)		
M-13						(3,38)	3,71	(3,78)		
M-17						(3,83)	5,66	(2,97)		
M-21						(1,67)	2,14	(3,87)		
M-25				(2,46)	3,48	4,14	3,56	(3,77)		
M-29				(1,91)	1,91	1,85	1,83			
M-33				(1,09)	(0,70)					
M-37			(0,81)	(0,58)						
M-41			(0,48)	(0,28)						
M-49					(0,14)	(0,15)				

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m.
Fonte: Souza, 1982.

Tabela 19 c - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ em níveis de 10/10m, em poços, no local Lagoa Seca - Catalão I*

Nº do Poço	NÍVEIS							
	950	940	930	920	910	900	890	880
O-025		(0,91)	1,42	(1,77)				
O-017	(0,86)	0,88	1,64	1,33	1,81	(1,05)		
O-013		(1,23)	2,10	1,81	2,00	(1,27)		
O-09		(1,03)	2,04	3,06	2,04	1,57	1,29	2,80
O-05			(1,96)	3,41	3,20	3,24	3,40	3,38
O-1			(2,04)	2,78	3,29	(2,21)		
O-5				(2,21)	3,21	3,11	3,14	2,53
O-9					(2,95)	2,93	3,35	(3,26)
O-13						(3,34)	3,90	(2,88)
O-17							(4,38)	(2,77)
O-21							(2,36)	(3,64)
O25						(1,33)	2,54	(1,61)
O-29					(1,64)	0,99	(0,57)	
O-33					(1,36)	(0,68)		
O-37			(1,69)	(0,95)				
O-41			(0,43)	(0,36)				
O-45				(1,04)	(0,72)			
O-49						(0,27)	(0,35)	
P-43				(0,53)	(0,51)	2,40		
P-59							(0,20)	(0,14)
P-67		(1,38)	(1,03)					
Q-017		(1,02)	2,18	1,87	2,22	1,53	(2,29)	
Q-013		(0,98)	1,32	1,75				
Q-09		(1,03)	2,06	1,82	2,09	(1,58)		
Q-05		(1,52)	2,78	2,50	2,78	3,05	(3,78)	
Q-1			(2,12)	2,83	2,84	2,48	(3,10)	
Q-5			7,00	(3,22)	3,81	3,44	3,79	(3,61)
Q-9					(2,85)	2,67	2,87	(3,04)
Q-13						(3,20)	3,31	(1,92)
Q-17						(2,44)	2,25	(2,39)
Q-21						(1,91)	(1,80)	(9,90)
Q-25					(1,61)	(1,29)	1,15	
Q-29					(2,40)	(1,84)		
Q-33				(0,81)				
Q-37			(1,00)	(0,89)				

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m.
Fonte: Souza, 1982.

Tabela 19 d - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ em níveis de 10/10m, em poços, no local Lagoa Seca - Catalão I*

Nº do Poço	NÍVEIS						
	950	940	930	920	910	900	890
Q-41			(0,38)	(0,52)			
Q-45			(0,49)		0,84	(0,88)	
S-033		(1,01)	(1,76)	(1,88)			
S-025	(1,63)	1,55	2,09	2,01	(1,69)		
S-017	1,33	2,16	2,46	1,61	(1,27)		
S-013	(0,92)	1,75	2,14	1,86	(1,79)		
S-09	(0,75)	1,65	2,03	2,56	2,68	(2,47)	
S-05	4,70	(1,30)	2,32	2,89	2,77	2,62	(0,85)
S-1			(1,85)	3,06	2,94	2,54	2,69
S-5				(2,68)	3,78	4,21	(3,49)
S-9				(3,10)	3,55	3,54	(3,43)
S-13					(3,11)	3,22	(3,70)
S-17						(2,10)	(2,39)
S-21					(2,27)	2,39	(2,42)
S-25					1,93	(1,36)	
S-29				(1,06)	(0,49)	(1,10)	
S-41			(0,51)	(0,26)			
S-45			(0,33)	0,49	(0,33)		
T-19					(1,72)	(1,53)	
T-27				(0,83)	(0,17)		
T-35		(0,60)	0,77	(0,93)			
T-43			(1,05)	0,99	(0,57)		
U-017	(1,42)	2,34	2,53	2,85	2,18	(1,28)	
U-013	(0,94)	2,00	2,40	2,64	2,02	(1,99)	
U-09	(0,32)	2,27	3,44	3,21	2,90	(1,61)	
U-05		(1,78)	2,83	2,76	2,90	(2,61)	
U-1		(1,65)	2,79	3,95	4,04	(3,70)	
U-5			(3,39)	4,74	3,39	2,94	
U-9				(4,13)	3,47	(2,69)	
U-13					(2,41)	1,47	(0,97)
U-17					(1,58)	(1,30)	
U-21				(1,17)	(0,95)		
U-25				(1,11)	(0,78)		
U-41		(0,82)	(0,60)				
U-45			(0,40)	(0,27)			
U-49			(0,35)	(0,39)			

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m.

Fonte: Souza, 1982.

Tabela 20 a - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ (níveis de 10/10m), em furos de sonda, do local Lagoa Seca - Catalão I (GO)*

Nº do Furo	NÍVEIS (m)										
	960	950	940	930	920	910	900	890	880	870	860
B-03		0,52m	(1,52)	1,21	1,30	1,14	1,46	1,33	1,20	1,06	1,80
B-7			2,58m	(1,52)	2,01	2,27	2,17	1,95	2,61	2,64	4,36
B-15						3,93m	(5,23)	5,13	2,01	1,51	1,98
B-23										7,23m	(3,10)
B-31											
D-19									4,35m	(5,50)	4,34
D-27											6,50m
F-03				6,32m	(2,61)	2,79	2,02	1,51	1,89	1,69	2,18
F-7							7,06m	(1,89)	0,97	1,39	1,69
F-15							0,45m	(1,59)	1,40	3,34	4,50
F-23										6,15m	(2,77)
F-31										6,60m	(3,30)
H-11						0,85m	(2,43)	2,37	3,53	2,43	2,63
H-19									6,00m	2,86	3,40
H-27								5,70m	(3,35)	3,71	2,92
J-019		3,54m	(1,05)	1,23	0,99	1,83	1,95	1,92	1,71	1,41	1,63
J-011		3,05m	(1,28)	1,29	2,39	2,17	1,34	4,92	2,10	1,63	1,37
J-03				8,54m	(3,14)	2,15	1,56	1,58	2,07	3,31	2,39
J-7						6,06m	(2,21)	2,05	2,12	1,77	1,98
J-15								3,20m	(2,39)	2,23	2,49
J-23								3,75m	(3,00)	3,33	3,63
J-31								7,60m	(1,70)	1,17	1,45
L-11							6,25m	(3,40)	3,32	1,68	1,24
L-19								3,80m	(1,45)	2,06	2,03
L-27					8,10m	(2,23)	2,32	1,99	1,85	2,35	1,84
N-027		3,34m	(1,23)	1,09	1,89	1,75	1,20	1,50	1,23	0,96	0,94
N-019		8,60m	(1,63)	1,96	1,40	0,81	1,31	1,20	1,49	1,48	1,38
N-011		5,20m	(1,93)	2,05	1,44	1,62	1,93	1,14	1,63	1,78	1,20
N-03				6,07m	(3,10)	2,43	2,30	1,72	1,51	2,32	2,06
N-7					3,35m	(2,20)	2,86	2,98	3,22	2,92	3,26

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m, indicando-se na coluna ao lado o seu comprimento em metros.

Fonte: Souza, 1982.

Tabela 20 b - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ (níveis de 10/10m), em furos de sonda, do local Lagoa Seca - Catalão I (GO)*

Nº do Furo	NIVEIS (m)										
	850	840	830	820	810	800	790	780	770	760	750
B-03	1,72	1,34	2,16	1,70	(0,60)	0,30m					
B-7	3,25	1,74	1,22	(1,04)	2,97m						
B-15	1,32	1,83	1,13	(1,46)	3,60m						
B-23	3,07	2,21	1,54	(1,06)	7,55m						
B-31	7,70m	(2,18)	2,21	2,12	1,26	(1,49)	4,71m				
D-19	3,04	2,04	1,41	0,74	0,84	0,85	0,68	(0,42)	6,05m		
D-27	(3,60)	3,85	2,96	1,71	(1,77)	9,55m					
F-03	(2,01)	5,68m									
F-7	1,35	1,13	(1,05)	8,09m							
F-15	3,04	1,62									
F-23	2,28	2,50	2,41	1,98	1,52	(2,24)	7,57m				
F-31	2,52	1,96	1,85	1,95	(1,40)	7,12m					
H-11	2,96	(2,50)	9,27m								
H-19	2,80	1,87	1,55	1,15	1,34	1,67	1,52	1,54	1,21	(1,46)	9,30m
H-27	1,34	1,59	(1,45)	8,69m							
J-019	1,49	1,77	(1,16)	8,00m							
J-011	1,66	1,62	1,36	(1,66)	3,08m						
J-03	2,61	(0,88)	6,27m								
J-7	1,41	1,56	(0,85)	6,37m							
J-15	2,75	1,78	1,91	(1,49)	4,30m						
J-23	2,75	1,34	1,40	1,60	(1,45)	0,57m					
J-31	1,26	0,79	0,78	(0,84)	2,79m						
L-11	1,28	3,13	2,17	1,04	(1,02)	8,13m					
L-19	2,14	1,27	8,45m								
L-27	2,021	1,28	(0,99)	1,59m							
N-027	1,63	1,06	(1,40)	4,16m							
N-019	(1,06)	9,85m									
N-011	(0,29)	3,40m									
N-03	(0,77)	0,94m									
N-7	6,99m										

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m, indicando-se na coluna ao lado o seu comprimento em metros.

Fonte: Souza, 1982

Tabela 20 c - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ (níveis de 10/10m), em furos de sonda, do local Lagoa Seca - Catalão I (GO)*

Nº do Furo	NIVEIS (m)										
	960	950	940	930	920	910	900	890	880	870	860
N-15						1,30m	(3,58)	4,60	4,28	2,98	2,85
N-23							7,90m	(3,12)	3,25	2,78	1,95
N-39			1,80m	(2,20)	0,53	0,34	(0,15)	9,83m			
N-47						8,30m	(0,22)	0,10	0,10	(0,08)	1,50m
P-3				9,90m	(3,09)	2,80	3,08	2,92	2,33	(1,82)	0,04m
P-11					3,80m	(3,33)	3,04	2,82	3,08	2,60	2,51
P-19						0,20m	(1,12)	1,37	2,43	2,32	1,25
R-035		2,63m	(1,30)	1,59	2,11	1,62	1,66	1,54	1,52	1,45	1,23
R-027		9,35m	(1,93)	2,96	2,71	2,69	1,47	1,29	1,27	1,67	1,97
R-019	4,50m	(0,82)	1,80	2,19	1,24	1,01	0,81	1,37	1,03	0,92	0,55
R-011	1,85m	(1,31)	1,87	2,88	2,59	1,47	1,24	0,74	1,30	1,37	(1,04)
R-03				9,99m	(2,48)	3,47	3,31	3,72	2,32	(1,51)	0,52m
R-7				3,98m	(2,29)	2,74	3,06	2,51	1,73	1,96	1,04
R-15						6,60m	(2,02)	2,41	2,39	1,63	1,47
P-11					3,80m	(3,33)	3,04	2,82	3,08	2,60	2,51
P-19						0,20m	(1,12)	1,37	2,43	2,37	1,25
R-035		2,63m	(1,30)	1,59	2,11	1,62	1,66	1,54	1,52	1,45	1,23
R-027		9,35m	(1,93)	2,96	2,71	2,64	1,46	1,29	1,27	1,67	1,90
R-019	4,50m	(0,82)	1,80	2,19	1,24	1,01	0,81	1,37	1,03	0,92	(0,55)
R-017	1,85m	(1,31)	1,87	2,88	2,59	1,47	1,24	0,74	1,30	1,37	(1,04)
R-03				9,90m	(2,48)	3,47	3,31	3,72	3,32	(1,51)	0,52m
R-7				3,90m	2,29	2,74	3,06	2,51	1,73	1,96	1,04
R-15						6,60m	(2,02)	2,41	2,39	1,63	1,47
T-5			5,50m	(1,86)	3,10	2,93	3,32	2,98	2,88	(1,34)	5,79m
T-11				5,25m	(2,68)	3,44	3,06	3,02	2,22	1,97	(1,34)
V-035		7,90m	(1,70)	2,06	1,32	1,53	1,80	2,02	1,69	1,82	1,92
V-027	1,30m	(1,12)	1,03	1,63	2,39	2,12	1,69	1,78	1,08	1,17	1,64
V-019	1,20m	(1,82)	2,68	2,85	2,58	2,76	2,51	2,66	1,84	1,63	1,16
V-017		7,50m	(2,51)	2,87	2,87	3,02	2,81	2,12	1,62	1,06	(1,19)
V-03		3,90m	(1,11)	2,38	2,69	2,50	1,75	(1,95)	7,35m		
V7				9,30m	(2,70)	2,82	2,66	1,68	0,62	1,36	0,98

* Entre parênteses: teores de amostras inferiores a 10m, indicando-se na coluna ao lado o seu comprimento em metros.

Fonte: Souza, 1982

Tabela 20 d - Teores (%) de $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ (níveis de 10/10m), em furos de sonda, do local Lagoa Seca - Catalão I (GO)*

Nº do Furo	NIVEIS (m)										
	850	840	830	820	810	800	790	780	770	760	750
N-15	2,94	2,67	3,05	(1,59)	7,79m						
N-23	2,21	2,20	(1,23)	1,45m							
N-39											
N-47											
P-3											
P-11	1,55	(1,80)	7,13m								
P-19	0,95	(1,42)	9,82m								
R-035	1,42	(0,99)	8,57m								
R-027	(2,08)	8,65m									
R-019	2,50m										
R-011	9,25m										
R-03											
R-7	(0,80)	1,42m									
R-15	1,90	(0,99)	7,34m								
P-11	1,55	(1,80)	7,13m								
P-19	0,95	(1,42)	9,82m								
R-035	1,42	(0,99)	8,57m								
R-027	(2,08)	8,65m									
R-019	2,50m										
R-017	9,25m										
R-03											
R-7	(0,80)	1,40m									
R-15	1,90	(2,99)	7,34m								
T-5											
T-11	3,85m										
V-035	1,55	(1,05)	2,50m								
V-027	(1,00)	5,40m									
V-019	(1,13)	3,40m									
V-017	8,50m										
V-03											
V7	(1,65)	2,35m									

* Entre parênteses: ícores de amostras inferiores a 10m, indicando-se na coluna ao lado o seu comprimento em metros.

Fonte: Souza, 1982

Tabela 21 - Composição química das amostras S (superficial), e P (profunda) do minério de Nb de Catalão II

ELEMENTO QUÍMICO	AMOSTRA S (%)	AMOSTRA P (%)
SiO_2	24,00	30,60
Al_2O_3	14,10	8,50
Fe_2O_3	33,10	27,40
FeO	3,50	3,50
MgO	0,93	2,00
CaO	0,70	2,10
TiO_2	4,70	4,80
Na_2O	0,06	0,19
K_2O	1,99	4,30
P_2O_5	1,20	2,10
SO_2	0,40	0,80
F	0,07	0,17
Cr_2O_3	0,043	0,020
NiO	0,022	0,017
MnO	0,55	0,45
BaO	2,20	3,80
Nb_2O_5	2,50	3,40
P.F.	7,19	4,10
CO_2	0,04	0,13
CeO_2	1,50	1,20
La_2O_3	0,69	0,56
TOTAL	99,485	100,217

Fonte: Souza e Silva, 1979.

Tabela 22 - Composição mineralógica de duas amostras mistas, S (superficial) e P (profunda), do minério de Nb de Catalão II

MINERAL	AMOSTRA (%)	
	S	P
Argilo-minerais	25	15
Magnetita e/ou maghemita	15	22
Quartzo + chert/calcedônia	20	10
Goethita/Óxidos de ferro	15	8
Fragmentos de rocha (quartzito e filito)	5	10
Pirocloro	5	9
Flogopita	4	10
Ilmenita	4	5
Barita	3	5
Gorceixita	3	1
Apatita	-	4
Outros (apatita, rutilo, zirconita, monazita)	1	-
Outros (rutilo, zirconita, monazita, carbonatos)	-	1

Tabela 23 - Composição química de goyazita e monazita de Araxá e de amostras médias resultantes da homogeneização do seu minério*

ELEMENTO QUÍMICO	AMOSTRAS MÉDIAS			GOYAZITA	MONAZITA
	AB	273-S	273-I		
SiO ₂	17,40	20,00	19,60	1,20	5,58
Al ₂ O ₃	14,70	9,00	5,80	24,02	5,40
Fe ₂ O ₃	11,60	40,00	36,50	3,51	12,01
FeO	-	0,23	0,31	-	-
P ₂ O ₅	9,93	5,40	8,90	17,80	13,25
CaO	0,91	0,67	8,50	1,44	2,43
TiO ₂	6,94	3,40	3,30	3,60	2,74
BaO	5,58	2,30	2,00	11,32	1,20
Na ₂ O	-	0,02	0,04	-	-
K ₂ O	-	0,03	0,03	-	-
MnO	0,60	2,23	1,29	-	0,30
PbO	0,65	0,24	0,23 (Pb)	0,44	1,80
Nb ₂ O ₅	2,21	1,10	0,87	1,11	1,56
SrO	2,21	0,66	0,58	5,76	0,71
MgO	-	0,10	0,19	-	-
ZrO ₂	0,47	0,23	0,23	0,27	0,08
V ₂ O ₅	-	0,07	0,06	-	-
LiO ₂	-	0,01	0,01	-	-
SO ₃	0,41	-	-	1,41	0,43
S	-	0,15	0,16	-	-
F	-	0,10	0,39	-	-
Cl	-	0,01	0,01	-	-
CO ₂	-	0,11	0,33	-	-
Ta ₂ O ₃	-	0,10	0,10	-	-
CeO ₂	6,28	3,20	2,70	3,24	21,84
La ₂ O ₃	3,80	2,00	1,60	2,44	12,15
Nd ₂ O ₃	1,58	0,66 (Nd)	0,62 (Nd)	0,85	5,64
Sm ₂ O ₃	0,19	0,23	0,16 (Sm)	0,08	0,59
Pr ₆ O ₁₁	0,49	0,48 (Pr)	0,38 (Pr)	0,23	1,98
Y ₂ O ₃	0,19	0,09	0,06	0,10	0,40
U ₃ O ₈	0,052	0,011	0,010	0,09	0,0325
ThO ₂	0,60	-	-	0,10	0,354
P.F.	9,87	8,63	7,04	15,30	6,30

AB (500 amostras), S (superiores), I (inferiores)
(Mendes, Murta e Castro, 1968; Silva, 1978)

Tabela 24 - Composição mineralógica de duas amostras mistas do minério de TR de Araxá (área DNPM-802.268/70).

MINERALOGIA	AMOSTRA (%)	
	273-S	273-I
Goethita	30,0	23,0
Quartzo	23,0	27,0
Fosfatos Secundários (*)	22,0	-
Gorceixita	-	17,0
Fluorapatita	-	11,0
Limonita + hematita	11,0	10,5
Rutilo + anatásio	5,5	2,0
Pandaíta	2,5	1,5
Zirconita	1,5	1,0
Monazita	1,0	1,5
Magnetita	1,0	1,0
Barita	0,5	1,5
Calcita	-	2,0
TOTAL	98,0	99,0

* Mistura micro a criptocristalina de gorceixita e florencita.

S - superior; I - inferior

Fonte: Relatório de Pesquisa da CBMM.

Tabela 25 - Reservas de OTR contidas no minério da Área Zero*

TEORES DE TR ₂ O ₃ (%)	RESERVAS (t)
10 - 11	546.000
11 - 12	294.000
12 - 13	234.000
13 - 14	120.000
14 - 15	84.000
15 - 16	18.000

(*) Grossi Sad e Torres, 1976

Tabela 26 - Reservas acumuladas de OTR da Área Zero, Araxá

INTERVALO (%)	% MÍNIMA PONDERADA	RESERVAS (t)
14 - 15	14,17	102.000
13 - 15	13,54	222.000
12 - 15	12,75	456.000
11 - 15	12,06	750.000
10 - 15	11,19	1.296.000

(*) Grossi Sad e Torres, 1976

Tabela 27 a - Teores de terras-raras ($\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$), expressos em %, em níveis de 10/10m.

FURO	MÉDIA*	NÍVEIS										
		1100	1090	1080	1070	1060	1050	1040	1030	1020	1010	1000
1-XVVK-0	5,20						2,24	1,94	7,24	5,60	3,17	8,75
4-XVVK-0	4,92						7,57	8,42	4,09	3,08	4,41	3,83
7-XVVK-0	5,08					7,86	6,13	3,56	4,46	5,71	3,65	4,23
1-XVVK-3	4,63						5,43	2,82	3,93	5,43	3,26	
4-XVVK-3	4,72						4,32	2,79	4,47	6,48	4,73	5,08
7-XVVK-3	4,20						7,84	5,85	3,66	3,11	2,44	3,50
1-XVK-7	3,28						3,74	3,61	2,17	4,70	2,67	3,79
4-XVK-7	3,37						2,47	4,61	4,35	2,72	2,23	3,58
0-XXL-0	6,52						7,76	11,67	4,27	2,38		3,67
9-XVL-9	2,14								1,95	2,39	1,50	1,36
3-XVIL-9	2,04	1,64	1,84				3,61	2,87	1,26	1,33	4,44	1,00
5-XVIL-5	2,51	4,04	4,97				2,46	2,45	0,41	6,84	4,17	3,60
5-XVL-5	3,20									3,46	3,28	4,18
2-XXVM-2	1,84	1,75	1,25	2,78	3,17	3,40		2,62	1,37	1,80	1,32	0,89
5-XVK-9	2,55						3,39	3,59	3,98	3,81	3,67	4,33
5-XVNH	0,84	0,80		0,78	0,60	0,32	0,44	0,40	0,37	0,34	0,27	0,38
7-XVK-7	3,81						3,57	4,19	4,04	4,63	3,17	3,78
2,5-XVK-7	4,33							3,72	4,06	4,85	5,44	4,19
5,5-XVK-8,5	4,70						7,27	5,71	5,22	5,81	2,82	3,29
2,5-XVK-1,5	3,92							5,92	5,06	3,52	3,51	3,57
5,5-XVK-1,5	3,60							4,98	4,96	3,75	2,73	2,98
4-XVL-3	2,88						1,43	2,79	3,00	2,02	4,52	2,96
0-XVL-7	4,89						3,30	8,67	3,96	4,59	5,45	4,05
E-0	2,74							1,15	1,29	5,31	4,20	3,65
E-1	1,85											2,71
E-5	2,12											3,56

* Teor médio por furo

Fonte: Silva, 1978

Tabela 27 b - Teores de terras-raras ($\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$), expressos em %, em níveis de 10/10m.

FURO	MÉDIA*	NÍVEIS												
		990	980	970	960	950	940	930	920	910	900	890	880	870
1-XVVK-0	5,20	4,54	3,30	4,01	4,60	3,92	6,18	8,34	6,71	8,86	5,33			
4-XVVK-0	4,92	3,06												
7-XVVK-0	5,08													
1-XVVK-3	4,63	6,74	4,84											
4-XVVK-3	4,72	5,15												
7-XVVK-3	4,20													
1-XVK-7	3,28													
4-XVK-7	3,37													
0-XXIL-0	6,52													
9-XXL-9	2,14													
3-XVIL-9	2,04	0,26	0,91	1,78	1,66									
5-XVIL-5	2,51	3,01	3,97	3,87	2,43	3,37	2,52	1,61	0,96	0,67	0,49	0,57	1,87	
5-XVL-5	3,20	3,53	3,17	3,07	3,05	3,97	2,43	2,64	1,01					
2-XXVM-2	1,84	0,66												
5-XVK-9	2,55	3,49	1,29	1,09	0,53	1,67	2,32	1,28	1,30					
5-XVNH	0,84	0,53	0,52	0,67	0,74	0,91	1,91							
7-XVK-7	3,81													
2,5-XVK-7	4,33													
5,5-XVK-8,5	4,70													
2,5-XVK-1,5	3,92	2,99	2,88											
5,5-XVK-1,5	3,60	5,21	5,39	5,41	3,74	3,79	2,14	1,16	0,80					
4-XVL-3	2,88													
0-XVL-7	4,89													
E-0	2,74	2,13	3,22	4,42	2,22	2,18	0,97	1,16	0,83	2,96	3,54	5,89	4,12	1,76
E-1	1,85													
E-5	2,12	2,62	2,72	3,52	2,71	1,03	0,55	1,49	1,38	1,63				

* Teor médio por furo

Fonte: Silva, 1978

Tabela 28 - Principais propriedades físicas dos minerais do minério de TR da Área Zero*.

MINERAL	DENSIDADE	CONDUTIVIDADE	
		SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA	ELÉTRICA
Goyazita	3,2 - 3,3	Baixa	Baixa
Monazita	4,9 5,3	Baixa	Baixa
Quartzo	2,7	Muito Baixa	Baixa
Goethita	3,8 - 4,2	Média	Média
Rutilo	4,2 - 4,3	Muito Baixa	Média
Pandaíta	4,2 - 4,4	Baixa	Média
Magnetita	4,9 - 5,2	Alta	Média
Zirconita	4,4 - 4,8	Muito Baixa	Baixa
Baritina	4,3 - 4,7	Muito Baixa	Baixa

(*) In: Fernandes, 1975

Tabela 29 - Teores de TR e U nas diversas frações do minério de TR da Área Zero, Araxá.

MESH (Nº)	PESO (%)	TR ₂ O ₃ (%)	Y ₂ O ₃ (%)	DISTRIBUIÇÃO (%)	
				TR ₂ O ₃	U ₃ O ₈
10	8,50	8,8	0,045	6,9	6,5
20	5,75	9,2	0,052	4,9	5,0
30	8,00	10,6	0,047	7,8	6,4
40	5,75	9,2	0,044	4,9	4,3
60	4,50	9,6	0,050	4,0	3,8
80	17,00	9,2	0,056	14,3	15,9
100	1,25	14,1	0,067	1,7	1,4
150	10,00	11,0	0,061	10,1	10,4
200	11,00	13,0	0,064	13,1	12,0
250	18,25	10,4	0,071	17,4	22,2
300	3,50	13,4	0,072	4,4	4,3
325	6,50	17,5	0,070	10,5	7,8
MÉDIA	-	11,33	0,058	-	-
TOTAL	100,0	-	-	100,0	100,0

Fonte: Fernandes, 1975.

Tabela 30 - Composição química (%) do minério de nióbio e do pirocloro do Barreiro, Araxá (MG)

ELEMENTOS CONSTITUINTES	MINÉRIO	BARIOPIROCLORO
Nb ₂ O	3,00	63,42
Ta ₂ O ₅	Tr	0,15
BaO ₅	17,73	16,51
CaO	Tr	0,44
TR ₂ O ₃	4,44	3,29
Th ₂ O	0,13	2,34
MnO ₂	1,82	0,16
Fe ₂ O ₃	46,52	-
FeO	-	2,37
TiO ₂	3,60	2,30
PbO	Tr	0,42
SnO ₂	Tr	0,10
Al ₂ O ₃	1,19	-
P ₂ O ₅	3,32	-
SiO ₂	2,38	-
ZrO ₂	0,20	-
SO ₃	8,82	-
U ₃ O ₈	0,008	-
P.F.	6,2	-
H ₂ O	-	8,50

Fonte: Paraíso e Fuccio (1981).

Tabela 31 - Radiometria e dados analíticos de amostras de afloramentos de ferro-carbonatitos de Mato Preto.

Nº DE REF.	RADIOMETR. (CPS)	TR ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
1143	> 15.000	12,84	0,85	8,1
1144	> 15.000	10,36	2,00	5,8
1145	12.500	6,77	1,10	18,1
1146	15.000	4,67	0,27	14,8
1147	> 15.000	9,12	0,21	9,0
1148	12.000	2,54	0,12	10,0
1149	13.000	5,65	0,10	8,0
1150	-	9,71	0,31	16,3

Fonte: Lapido Loureiro e Figueiredo, 1984

Tabela 32 - Radiometria e dados analíticos de amostras de solo de Mato Preto 1.

Nº-DE REF.	RADIOM. (cps)	TR ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Nb ₂ O	U ₃ O	ThO ₂ (ppm)
1151	1500	2,60	1,70	0,22	20	290
1153	1300	1,10	0,42	0,22	10	240
1155	850	6,20	2,2	0,26	20	160
1157	500	2,60	0,49	0,22	16	100
1159	350	9,00	0,18	0,20	9	100
1162	1000	1,60	0,38	0,25	15	-
1164	1200	5,60	0,72	0,25	12	310
1166	1200	6,50	1,2	0,23	13	350
1168	400	1,60	1,30	0,22	11	100
1169	800	7,20	0,70	0,21	11	150
1171	1000	8,10	0,70	0,20	11	210
1173	1000	1,50	1,10	0,22	16	230
1175	750	2,60	0,20	0,23	12	130
1177	700	2,50	4,5	0,27	20	380
1179	1000	1,80	0,27	0,20	11	160
1181	700	1,00	0,92	0,21	11	180
1183	800	5,4	1,70	0,24	18	360
1184	500	5,0	0,41	0,22	16	270
1186	600	1,50	0,25	0,27	15	260
1188	700	5,60	1,40	0,19	11	360
1191	900	4,00	0,84	0,21	16	140
1193	800	5,50	2,0	0,27	21	170
1195	500	2,00	0,10	0,20	12	180
1197	1200	1,80	1,40	0,19	8	110
1199	1300	2,80	1,1	0,22	23	270
1201	600	2,40	0,10	0,22	10	210
1203	400	9,00	0,10	0,20	11	100

Fonte: Lapido-Loureiro e Figueiredo, 1984

Tabela 33 - Teores de TR, U e Th em amostras de rochas alcalinas coletadas em trincheiras.

TRINCHEIRA	TR ₂ O ₃ (%)		U ₃ O (ppm)		ThO ₂ (ppm)		N ^o de Amostras
	Médio	Máx.	Médio	Máx.	Médio	Máx.	
A	0,79	8,86	9	22	163	940	33
B	0,90	5,33	10	63	206	570	46
C	2,06	8,59	15	31	480	990	27
D	-	-	13	23	432	540	10
01	1,40	1,60	14	22	230	410	3
02	0,65	-	96	-	360	-	1
03	-	-	44	89	1063	2500	9
04	-	-	67	98	891	1180	2
06	0,19	0,22	88	144	445	670	2
09	-	-	30	-	220	-	1
10	-	-	25	-	110	-	1

A a D - Mato Preto I; 01 a 10 - Mato Preto II.

Fonte: Lápido Loureiro e Figueiredo, 1984.

Tabela 34 - Teores de TR, U, Th em amostras de carbonatitos coletadas em trincheiras.

TRINCHEIRA	TR ₂ O ₃ (%)		U ₃ O (ppm)		ThO ₂ (ppm)		N ^o de Amostras
	Médio	Máx.	Médio	Máx.	Médio	Máx.	
A	1,76	9,18	17	51	537	2.670	18
B	2,78	8,03	13	54	690	1.870	9
C	1,11	-	11	-	180	-	1
D	-	-	9	-	290	-	1
04	0,72	-	25	98	605	920	2
06	-	-	60	-	390	-	1

A a D - Mato Preto I; 04 e 06 - Mato Preto II.

Fonte: Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1984.

Tabela 35 a - Dados analíticos dos ETR das fluoritas roxas de Mato Preto. Valores em ppm.

	FLUORITAS ROXAS					
	P81b	29db34	P30a	P34b	P70b	TH2
La	15113,0	2881,0	699,0	1670,1	761,8	832,6
Ce	188869,9	3017,0	1178,0	2121,0	1241,0	1573,0
Nd	4416,0	550,2	411,8	670,4	407,6	707,8
Sm	453,1	59,3	67,5	96,9	69,1	121,3
Eu	94,3	14,4	17,3	24,6	21,3	32,0
Gd	241,3	49,8	43,8	66,6	71,6	70,7
Dy	81,5	38,2	27,0	29,6	47,2	33,0
Ho	17,4	6,8	4,8	5,1	6,9	6,3
Er	38,7	16,6	12,3	11,9	13,7	15,9
Yb	15,4	12,0	9,6	7,3	6,6	9,7
Lu	1,7	1,5	1,2	0,85	0,7	1,1
TOTAL	209.503,0	6691,6	2507,7	4752,5	706,8	3455,2

In: Santos, 1988

Tabela 35 b - Dados analíticos dos ETR das fluoritas incolores de Mato Preto. Valores em ppm.

	FLUORITAS INCOLORES		
	Gal 01	P34c	P71c
La	126,3	2122,0	501,3
Ce	183,1	2522,0	841,5
Nd	65,4	421,0	439,3
Sm	10,2	35,8	50,2
Eu	2,7	6,9	14,2
Gd	7,2	24,6	31,5
Dy	6,4	8,9	14,1
Ho	1,3	1,9	2,6
Er	3,9	4,7	5,4
Yb	3,5	2,5	2,4
Lu	0,4	0,4	0,3
TOTAL	417,2	5167,5	1925,6

In: Santos, 1988

Tabela 35 c - Dados analíticos (ppm) dos ETR das fluoritas remobilizadas de Mato Preto.

	FLUORITAS REMOBILIZADAS			
	71db6	P71d	TIC	20db61
La	55,1	35,1	15,8	13,9
Ce	78,8	21,9	28,1	25,2
Nd	32,4	50,1	26,1	14,1
Sm	6,8	9,5	7,9	4,3
Eu	2,5	3,0	3,3	2,1
Gd	9,1	8,5	11,7	8,6
Dy	13,0	8,9	25,5	11,9
Ho	2,7	1,9	6,5	2,0
Er	7,8	5,7	24,2	5,5
Yb	7,9	5,3	22,7	5,0
Lu	1,0	0,7	2,7	0,7
TOTAL	228,2	159,3	193,1	103,5

In: Santos, 1988

Tabela 36 a - Dados analíticos (ppm) dos elementos menores das fluoritas roxas de Mato Preto.

	FLUORITAS ROXAS				
	29DB34	P30a	P34b	P70b	TH2
Y	520	440	392	520	560
Nb	180	20	20	68	56
Ba	1630	5000	4600	2040	330
Rb	10	10	10	10	10

In: Santos, 1988

Tabela 36 b - Dados analíticos (ppm) dos elementos menores das fluoritas microcristalinas de Mato Preto.

	FLUORITAS MICROCRISTALINAS		
	P71c	GAL01	P34C
Y	200	168	164
Nb	35	40	290
Ba	520	5000	4020
Rb	10	10	10

In: Santos, 1988

Tabela 36 c - Dados analíticos (ppm) dos elementos menores das fluoritas remobilizadas de Mato Preto.

	FLUORITAS REMOBILIZADAS			
	71DB60	3561	Tic	P71d
Y	280	180	840	368
Nb	24	-	56	20
Ba	1260	-	330	67
Rb	-	-	10	10

In: Santos, 1988

Tabela 37 - Dados analíticos de ETR (ppm) das rochas encaixantes da mineralização de fluorita*

	CARBONATITOS			FONOLITO	SIENITO FENITIZADO	GRANITO FENITIZADO
	10db46	7db46	P95b	P26b	SR501	P78
La	187,00	935,00	333,50	101,50	154,70	73,30
Ce	278,00	1392,00	544,90	161,00	229,50	141,30
Nd	197,60	496,50	218,90	52,30	75,10	41,60
Sm	15,90	79,60	39,80	7,20	13,20	7,30
Eu	3,80	20,20	11,30	2,00	4,10	1,90
Gd	10,10	51,10	30,50	5,50	11,80	5,80
Dy	8,10	20,40	21,80	3,60	7,40	3,40
Ho	1,80	3,30	4,00	0,65	1,30	0,48
Er	4,80	6,40	9,40	2,00	3,70	1,60
Yb	2,70	2,00	4,00	1,95	1,90	1,10
Lu	0,30	0,25	0,40	0,30	0,21	0,14
TOTAL	629,30	3042,80	1244,65	343,35	512,55	282,52

(*) In: Santos, 1988

Tabela 38 a - Teores de TR₂O₃ (%) em amostras de Barra do Itapirapuã II.

N ^o DE REFERÊNCIA/ POÇOS	O/O/25 N	01/50 N	03/25 N
SOLO	0,80 (6)	0,76 (1)	0,93 (3)
SOLO C/FRAGMENTOS DE ROCHAS CARBONATITO	-	1,20 (1)	2,20 (1)
FERROCARBONATITO	1,95 (1)	-	-
GRANITO	-	-	-
GRANITO ALTERADO	0,32 (1)	-	0,18 (1)
GRANITO APATÍTICO	-	1,88 (2)	0,28 (2)
	3,21 (1)	-	-

Indica-se entre parênteses o n^o de amostras analisadas.

Fonte: Silva e Oliveira, 1984.

Tabela 38 b - Teores de TR₂O₃ (%) em amostras de Barra do Itapirapuã II.

N ^o DE REFERÊNCIA/ POÇOS	03/75 S	03/175 S	03/275 S	03/375 S	03/475 S
SOLO	0,31	0,44 (2)	0,40 (2)	0,77 (2)	0,50 (3)
SOLO C/FRAGMENTOS DE ROCHAS CARBONATITO	-	9,60 (1)	-	-	-
FERROCARBONATITO	-	-	-	-	-
GRANITO	-	8,46 (2)	-	-	-
GRANITO ALTERADO	-	-	-	-	-
GRANITO APATÍTICO	0,25 (2)	-	0,17 (1)	0,10 (1)	0,15 (2)
	-	-	-	-	-

Indica-se entre parênteses o n^o de amostras analisadas.

Fonte: Silva e Oliveira, 1984.

Tabela 39 - Teores de OTR (%) em amostras superficiais de canga de Seis Lagos

Amostra	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pf ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃
487	0,77	1,38	0,14	0,43	0,059	0,014	0,018	0,005	0,007	-	-
513	0,23	0,40	0,045	0,11	0,017	0,005	0,009	0,005	0,005	-	-
522	0,12	0,26	0,024	0,063	0,013	0,005	0,006	0,005	-	-	-
524	0,25	0,40	0,036	0,085	0,013	0,005	0,009	0,005	-	-	-
526	0,29	0,48	0,051	0,14	0,023	0,005	0,011	0,005	-	-	0,005
527	0,30	0,49	0,053	0,11	0,018	0,005	0,008	0,005	-	-	-
529	0,10	0,19	0,022	0,055	0,011	0,005	0,007	0,005	-	-	-
538	0,25	0,28	0,053	0,16	0,021	0,005	0,014	0,005	-	-	0,005
539	0,081	0,14	0,013	0,34	0,009	0,005	0,009	0,005	-	-	-
544	0,22	0,42	0,047	0,13	0,021	0,005	0,011	0,005	-	-	-
547	0,37	0,59	0,068	0,19	0,030	0,007	0,015	0,005	-	-	-
549	0,34	0,74	0,073	0,21	0,037	0,009	0,009	0,022	0,005	-	0,005
550	0,20	0,65	0,041	0,10	0,021	0,007	0,016	0,005	0,007	-	0,005
551	0,20	0,54	0,049	0,14	0,029	0,008	0,020	0,005	0,005	-	0,005
560	0,052	0,21	0,013	0,038	0,007	0,005	0,009	0,005	0,005	0,005	-
562	0,15	0,27	0,029	0,077	0,015	0,005	0,010	0,005	0,005	-	-
564	0,20	0,43	0,042	0,13	0,024	0,005	0,009	0,005	-	0,005	-
565	0,30	0,69	0,062	0,18	0,027	0,007	0,014	0,005	-	-	0,008
575	0,038	0,41	0,009	0,024	0,006	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
576	0,11	0,24	0,024	0,061	0,012	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
581	-	0,67	0,005	0,005	0,008	0,005	0,005	0,005	-	0,005	0,005
585	0,071	0,22	0,031	0,12	0,040	0,012	0,027	0,005	0,008	0,005	0,005
589	0,039	0,15	0,013	0,027	0,006	0,005	0,005	0,005	-	0,005	0,005
649	0,46	1,09	0,096	0,31	0,044	0,011	0,014	0,005	0,005	-	0,005
679	1,02	2,23	0,21	0,64	0,068	0,013	0,014	-	-	-	0,008
829	0,11	0,10	0,027	0,081	0,011	0,005	0,007	-	-	0,005	0,005
830	0,14	0,31	0,031	0,076	0,016	0,005	0,006	0,005	0,005	-	0,006
838	0,13	0,32	0,036	0,090	0,015	0,005	0,007	0,005	-	-	0,006
856	0,091	0,17	0,028	0,098	0,015	0,005	0,006	0,005	0,005	-	0,007
869	1,11	1,82	0,16	0,45	0,058	0,013	0,022	0,005	0,005	-	0,006
898	0,21	0,71	0,094	0,21	0,024	0,005	0,005	-	-	-	0,005
930	0,061	0,19	0,024	0,089	0,032	0,006	0,009	-	-	-	0,005
950	0,14	0,36	0,057	0,32	0,15	0,050	0,11	0,007	0,037	0,005	0,015
954	0,13	0,24	0,24	0,073	0,020	0,005	0,009	-	-	-	0,005
960	0,050	0,11	0,006	0,024	-	-	0,005	-	0,005	-	0,007
964	0,025	0,086	0,008	0,032	0,008	0,005	0,005	0,005	-	-	0,005

Fonte: CPRM

Tabela 40 - Análises químicas e mineralógicas de amostras de canga laterítica de Seis Lagos e Morro Norte

Nº REFERÊNCIA	MINERALOGIA	La ₂ O ₃	CeO ₂	P ₂ O ₅
526 (a)	He, Goe, Ru, Br, Mon	0,29	0,48	2,1
575 (a)	Goe, He, Br, Ru	0,038	0,41	0,70
581 (a)	He, Goe, Ru, Br, Cer	-	0,67	0,31
869 (a)	He, Goe, Gib, Qz, Mon	1,11	1,82	2,2
679 (b)	Goe, Gib, He, Mon, Flo-Gor	1,02	2,23	-
703 (b)	Flo-Gor, Goe, Br, Ru, Qz	(Ce + La > 1,1)	-	15,8
649 (b)	Gib, Goe, Qz, Cau, Flo-Gor	0,46	1,09	0,97
714 (b)	Mon, Flo-Gor, Bay, Gib	(Ce + La > 2,1)	-	26,6

Fonte: CPRM. Bay - bayerita; Br - brookita; Cau - caulinita; Cer - Cerita; Flo-Gor - grupo da florencita - gorceixita; Gib - gibsitá; Goe - goethita; He - Hematita; Mon - Monazitá; Qz - quartzo; Ru - rutílo. (a) Seis Lagos; (b) Morro Norte

Tabela 41 - Teores de ETR em rochas de Angico dos Dias.

TIPO DE AMOSTRA	ETR (ppm)	ETRL (ppm)	ETRP (ppm)	Nº DE AMOSTRAS
ROCHAS ENCAIXANTES:				
Leucogranito cataclástico	324	312	12	2
Metagabro	37	26	11	2
Hornblendito	69	65	4	1
ROCHAS DO COMPLEXO:				
Piroxenitos	339	320	19	2
Dioritos alcalinos:				
Rochas a anfibólio	99	88	11	2
Álcali dioritos	199	182	17	2
Rochas sieníticas:				
Albitito	366	354	12	5
Alcali feldspato sienitos	641	619	22	3
Quartzo sienitos	197	188	9	4
Carbonatitos	2546	2455	91	2
Álcali lamprófios	165	148	17	5

Fonte: Silva et al., 1988

Tabela 42 a - Teores de La, Ce, Nd, P₂O₅ dos carbonatitos de Angico dos Dias

Nº DE REFERÊNCIA	La (ppm)	Ce (ppm)	Nd (ppm)	La+Ce+Nd (ppm)	P ₂ O ₅ (%)
56	960	1.680	2.200	4.840	10,90
58	1.040	1.720	1.940	4.700	9,70
62	580	980	1.460	3.020	9,61
106	760	780	1.620	3.160	7,00
107	1.420	3.200	2.400	7.020	14,00
136	1.120	1.200	1.134	3.454	7,90
521	521	1.134	659	2.314	10,40
522	521	1.134	654	2.309	8,30

Fonte: Silva et al., 1988

Tabela 42 b - Composição mineralógica dos carbonatitos de Angico dos Dias

Nº DE REFERÊNCIA	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA			
	CALCITA	APATITA	MONAZITA	OUTROS
56	64,0	25,5	0,4	10,1
58	55,00	22,5	0,3	22,2
62	60,0	19,5	0,2	20,3
106	49,0	16,5	0,2	34,3
107	45,0	32,5	0,5	22,0
136	55,0	18,5	0,4	26,1
521	52,0	24,5	0,3	23,2
522	61,0	20,5	0,3	18,2

Fonte: Silva et al., 1988

Tabela 43 - Teores de ETR (ppm) em três amostras de carbonatito da Fazenda Varela, Lages - SC*

ELEMENTO	LG-1-2	LG-1-10	LG-3-5	LG-3-8	FV-32
La	16.883	853	2.115	503	3.266
Ce	19.457	1.612	4.152	1.091	5.959
Pr	1.324	166	389	141	571
Nd	3.430	626	1.492	437	1.981
Sm	233	30	164	34	216
Eu	78	24	48	11	23
Gd	226	94	119	31	170
Tb	36	9	9	4	17
Dy	105	35	22	11	56
Ho	9	6	3	1	8
Er	35	14	4	3	17
Tm	3	2	1	0,3	2
Yb	14	7	3	1	8
Lu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Y	535	177	56	-	239
ETR + Y	42.360	3.655	8.577	-	12.533

In: Scheibe e Formoso, 1982

Tabela 44 a - Litologia, tipo de ocorrência e radiometria da região de Bambuí, MG.

Nº DA ANOMALIA	LITOLOGIA DE SUPERFÍCIE	TIPO ESTRUTURAL DIMENSÕES	RADIOMETRIA DOS PONTOS AMOSTRADOS (valor máx. CPS)
01	Brecha	Filão E.W./0,4m espessura	4.500
03	Argilito venulado	?/0,2m	4.000
07	Brecha de matriz argilosa c/fragmentos de argilito e de rocha granítica	Diatrema/50m diâmetro	300 - 400
24	Material argiloso proveniente de brecha tectônica	Filão/0,2m	1.200
26	Argilito venulado	Vênulas/muito reduzidas	7.000 -
32	Solo de alteração, argiloso	Filão muito reduzido	1.000
40	Solo de alteração, argiloso	Stockwork (?)/?	1.300
49	Brecha muito alterada	Diatremas e Filão/100m ²	1.300
61	Transição das areias da cobertura terciária para solos argilosos no Bambuí	?/muito reduzida	6.000
62	Solo de alteração	Filão NE 50º/0,25x200m	350
80	Material terroso ocre	Filonete/0,10m	15.000
97	Solo de alteração revelando rocha brechóide muito intemperizada	Filão NE 50º/0,35m	4.000
101	Material terroso	Filão E-W/0,50 x 450m	4500
103	Brecha muito alterada	Diatrema(?) e filões (?)/10.000m ²	2.700
108	Solo argiloso	Filão NE 30º/?	1.200
109	Argiloso Venulado	Filão NE 66º/0,15m	2.000
119	Solo de alteração	Filão NE 40º/?	500
Abacaxis	Argilitos venulados e brecha	Diatrema (?)/10.000m ²	200
			2.600

Fonte: Lápido-Loureiro e Figueiredo, 1984.

Tabela 44 b - Dados analíticos de amostras da região de Bambuí, MG.

Nº DA ANOMALIA	U ₃ O ₈	ThO ₂	Y ₂ O ₃	R ₂ O ₃ SOL. EM HCl	Nº DA AMOSTRA
01	0,02	0,50	0,11	2,3	BMB-3
03	0,01	0,12	0,06	0,2	BMB-4
	0,09	0,73	0,66	0,7	BMB-5
	0,03	0,05	0,03	0,2	BMB-9
07	0,02	0,04	0,03	0,1	BMB-23
	0,02	0,06	0,03	0,1	BMB-18
	0,02	0,05	0,04	0,2	BMB-25
	0,02	0,05	0,04	0,1	BMB-26
24	0,05	0,12	0,22	0,3	BMB-16
26	0,02	0,92	0,05	1,1	BMB-20
32	0,05	0,08	0,11	0,1	BMB-17
40	0,02	1,1	0,25	1,4	BMB-14
	0,02	0,25	0,08	0,2	BMB-15
49	0,03	0,17	0,05	1,0	BMB-11
	0,03	0,54	-	-	BMB-12
61	-	-	-	-	-
62	0,02	2,1	0,06	2,1	BMB-27
	0,02	2,3	0,08	2,5	BMB-22
80	0,02	0,81	0,07	6,2	BMB-21
97	0,04	0,37	0,13	0,8	BMB-1
	0,04	0,36	0,12	2,1	BMB-2
101	0,02	0,28	0,04	1,4	BMB-13
	0,02	0,06	0,06	0,2	BMB-6
103	0,02	0,07	0,06	0,4	BMB-7
	0,02	0,07	0,06	0,6	BMB-8
108	0,03	0,16	0,04	0,2	BMB-19
109	0,02	0,06	0,03	0,1	BMB-24
119	-	-	-	-	-
Abacaxis	0,04	0,50	0,04	1,4	BMB-10

Fonte: Lapido-Loureiro e Figueiredo, 1984.

Tabela 45 - Dados analíticos de material monazítico de Peixe - TO

COMPONENTES	P 1	P 15	P 19	P 19	P 19	P 22	P 24	P 27
ThO ₂	0,29	0,57	0,44	0,55	0,48	0,61	0,52	
U ₃ O ₈	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	
Fe ₂ O ₃	3,8	3,1	7,5	4,7	5,4	0,5	4,8	
Insol. em H ₂ SO ₄	-	2,7	8,1	2,6	7,3	0,7	5,8	
Extr. Sulfúrico:								
R ₂ O ₃	36,5	65,8	53,8	62,7	56,5	71,2	59,6	
La ₂ O	37,7	34,6	34,4	33,7	36,8	36,7	37,6	
CeO ₂	50,4	51,3	51,9	52,0	50,7	50,1	50,1	
Pr ₆ O ₁₁	2,8	3,2	3,1	3,2	2,9	3,1	2,8	
Nd ₂ O ₃	7,7	9,0	8,7	9,2	7,9	8,2	7,7	
Sm ₂ O ₃	0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,3	
Eu ₂ O ₃	0,030	0,031	0,035	0,036	0,035	0,31	0,038	
Gd ₂ O ₃	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	
Y ₂ O ₃	0,10	0,13	0,16	0,10	0,26	0,10	0,28	
ThO ₂	0,79	0,87	0,82	0,88	0,85	0,86	0,87	

Composição de ETR referida a 100% de R₂O₃.

Fonte: NUCLEMON

Tabela 46 - Ambientes geológicos, teores e recursos identificados de TR no Brasil.

AMBIENTE GEOLÓGICO	OTR	
	Teor (%)	Recursos Identificados
Placers		
• Marinhos	< 0,1 - 0,3	39.000
• Fluviais	0,01 - 0,06	
Carbonatitos		
• Silexitos	> 10	680.000
• Solos Lateríticos	0,8 - 13,5	29.180.000

Fontes: Diversas, indicadas no texto, e dados pessoais.

Tabela 47 - Depósitos, recursos identificados, teores e principais minerais de TR no Brasil.

DEPÓSITOS E RECURSOS IDENTIFICADOS	OTR		PRINCIPAIS MINERAIS DE TR OU COM TR
	RES. (1000 t)	TEOR (%)	
ETR PRODUTO PRINCIPAL			
Córrego do Garimpo	680	> 10	mo, ce (?)
Morro do Ferro	230	3,9	ba, ch, mo, ce, fl, goy, Na-la
Área Zero (Araxá)	100	13,5	goy, mo, py, ap
Barreiro (Araxá) (a)	?	3 - 8	gor, goy, fl
ETR - SUBPRODUTO			
Areias de Praia (b)	30	0,2 - 0,3	il, zi, mo, ru, ma
Areias de Praia (c)	53	< 0,1	il, zi, ru, mo, ma
Placers Aluviais (d)	20	n.a.	ca, zi, Nb-ta, xe
Placers Aluviais (c)	19	0,0	il, zi, mo, or, ru
Minério de Ti (f)	712	1	an, ap, goy, ma
Minério de Ti (g)	2260	2	an, ap, goy, ma
Minério Fosfático (h)	1260	0,85	ap, ma, il, gor, goy, fl
Minério Fosfático (i)	4600	1	ap, gor, goy, fl, ma
Minério de Nb (j)	20000	4,4	pi, bar, ma, gor, mo
Minério de Nb (k)	18	3	pi, ma, il, gor

(a) Rocha fosfática "não apatítica" cobrindo o minério fosfático; (b) Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Sul da Bahia; (c) Estados da Bahia, Ceará e Piauí; (d) Pitinga - principalmente Y₂O₃; (e) Sapucaí; (f) Tapira; (g) Catalão I; (i) Araxá; (j) Araxá: 14.800.000t de OTR estão no pirocloro e a escória proveniente da produção da liga Fe-Nb contém 4% de OTR; (k) Catalão II. an-anatásio; ap-apatita; ba-bastnasita; bar-barita; ca-cassiterita; ce-cerianita; ch-cherlita; fl-florencita; gor-gorceixita; goy-goyazita; il-ilmenita; ma-magnetita; mo-monazita; Na-la-sódio-lantanita; Nb-ta - niobotantalita; or-ouro, pi-pirocloro; ru-rutilo; Th-ba-torobastnasita; xe-xenotimo; zi-zirconita.

Fontes: Diversas, indicadas no texto, e dados pessoais.

Tabela 48 - Teores de ETR, U, Th e P em amostras de silixito compacto (CAT-01 e CAT-03) e de silixito friável (CAT-02) da galeria do Córrego do Garimpo, Catalão I.

%	CAT-01	CAT-02	CAT-03
La ₂ O ₃	3,7	2,8	3,3
Ce ₂ O ₃	6,2	5,0	6,0
Pr ₆ O ₁₁	0,72	0,56	0,73
Nd ₂ O ₃	2,2	2,0	2,3
Sm ₂ O ₃	0,15	0,16	0,16
Eu ₂ O ₃	0,02	0,03	0,02
Gd ₂ O ₃	0,05	0,05	0,05
Tb ₄ O ₇	ND	ND	ND
Dy ₂ O ₃	0,009	0,02	0,01
Ho ₂ O ₃	ND	ND	ND
Er ₂ O ₃	ND	ND	ND
U ₃ O ₈	0,004	-	0,003
ThO ₂	0,008	-	0,007
P ₂ O ₅	-	10,8	-
TR ₂ O ₃	13,0	10,6	12,6

Fonte: CETEM; Analista CDTN. Métodos analíticos ETR - espectrometria de energia de RX; U, Th, P - Fluorescência de RX.

Tabela 49 - Teores de La, Ce, Nd, U e Th em amostras do silixito do Córrego do Garimpo, Catalão I.

Nº REF.	TIPO DE AMOSTRA (SILEXITO)	La (ppm)	Ce (ppm)	Nd (ppm)	TOTAL (%)	U	Th
5657	Bloco da galeria (7m)	40.702	66.178	20.474	12,74	-	92
5660	Idem (12m)	36.269	65.946	22.235	12,45	-	147
5686	Blocos soltos intemperizados	21.526	21.690	3.736	4,70	-	36

Fonte: Universidade Técnica de Munique.

Tabela 50 - Mercado mundial de "cerâmicas avançadas", em bilhões de dólares.

LOCALIDADE	1980	1985	1990	1995	2000
EUA	1,0	1,3	6,0	11,0	20,0
JAPÃO	1,4	2,8	7,5	14,0	24,0
EUROPA	0,4	0,6	1,0	4,0	7,0
OUTROS	0,2	0,3	0,5	1,0	2,0
TOTAL	3,0	5,0	15,0	30,0	53,0

Fonte: Chemical Hitech Inc.

Tabela 51 - Produção mineira e reservas de OTR no mundo.

PAÍSES	PRODUÇÃO MINEIRA		RESERVAS	
	tx 10 ³	%	tx 10 ³	%
China	25	39,00	43.000	40,89
EUA	16	24,96	12.600	11,98
CEI	8,5	13,26	21.400	20,35
Austrália	7,5	11,70	5.000	4,76
Brasil	2,5	3,90	280	0,27
Índia	2,2	3,43	2.300	2,19
Malásia	1,7	2,65	30	0,03
Tailândia	0,4	0,63	1	0,001
Canadá	0,1	0,16	940	0,89
Outros	0,2	0,31	19.600	18,64
TOTAL	64,1	100,00	105.151	100,001

Fontes: Min. Commod. Summ. - U.S. Bureau of Mines, 1991 e Kosinkin et al, 1992.

Tabela 52 a - Perfil do consumo de OTR e sua projeção para o ano 2000*.

APLICAÇÕES	EUA		EUROPA		JAPÃO	
	OTR (t)	%	OTR (t)	%	OTR(t)	%
Catálise	3.945	47,33	3.235	45,06	5,10	8,54
Vidros	2.210	26,51	2,175	30,29	2.900	48,58
Metalurgia	1.140	13,68	685	9,54	215	3,60
Ímãs	450	5,40	210	2,92	1.065	17,84
Cerâmicas	330	3,96	455	6,34	865	14,49
"Fósforos"	170	2,04	325	4,53	350	5,86
Outros	90	1,08	95	1,32	65	1,09
TOTAL	8.335	100,00	7.180	100,00	5.970	100,00

* Ressalte-se: No Japão, a pouca utilização em catalisadores e o seu grande peso na indústria de vidros; na China, a sua importância em metalurgia; EUA e Europa apresentam um perfil e um volume de utilização semelhantes à exceção das áreas de metalurgia e de ímãs que têm maior peso nos EUA; o maior aumento previsto até o ano 2.000 poderá se na área dos ímãs. Fonte: Industrial Minerals, nº 310, 1993

Tabela 52 b - Perfil do consumo de OTR e sua projeção para o ano 2000*.

APLICAÇÕES	CHINA		TOTAL		PROJ. P/O ANO 2000	
	OTR (t)	%	OTR (t)	%	OTR (t x 10 ³)	Cresc. %
Catálise	2,120	25,70	10.850	28,19	12,5 - 14	15-19
Vidros	810	9,82	10.650	27,66	14,0-20	31-88
Metalurgia	3.615	43,81	10.450	27,14	13,0-16	24-53
Ímãs	315	3,82	2.150	5,58	6,0-10	179-365
Cerâmicas	125	1,51	1.850	4,80	0,5-2,5	(-73)-35
"Fósforos"	300	3,64	1.300	3,38	2,0-4	54-208
Outros	965	11,70	1.250	3,25	1,0-3	(-20)-140
TOTAL	8.250	100,00	38.500	100,00	49,0-69,5	-

Fonte: Industrial Minerals, nº 310, 1993

* Ressalte-se: No Japão, a pouca utilização em catalisadores e o seu grande peso na indústria de vidros; na China, a sua importância em metalurgia; EUA e Europa apresentam um perfil e um volume de utilização semelhantes à exceção das áreas de metalurgia e de ímãs que têm maior peso nos EUA; o maior aumento previsto até o ano 2.000 poderá ser na área dos ímãs.

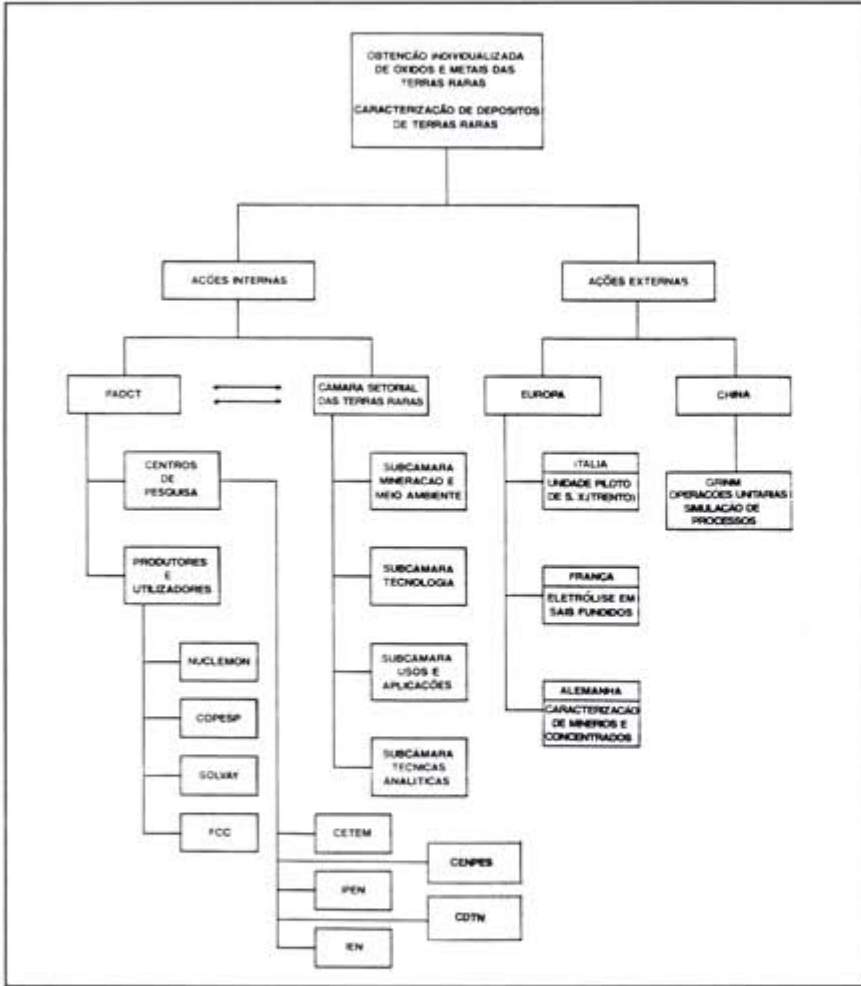


Figura 1 - Organograma conceitual do Projeto Terras-raras.

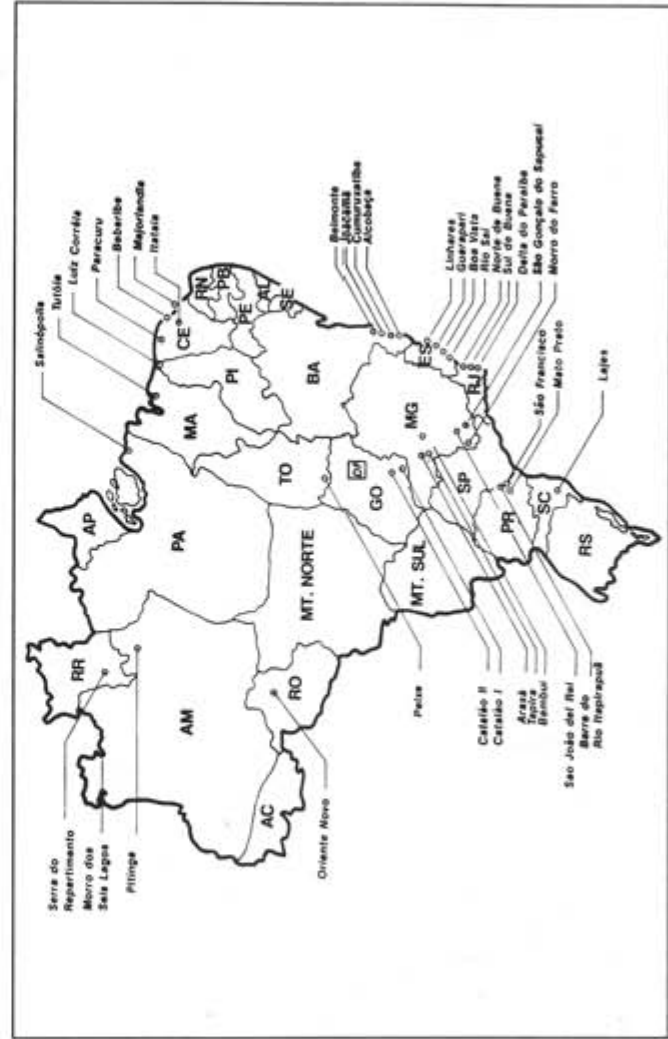


Figura 2 - Mapa de localização de depósitos e ocorrências de terras-raras no Brasil

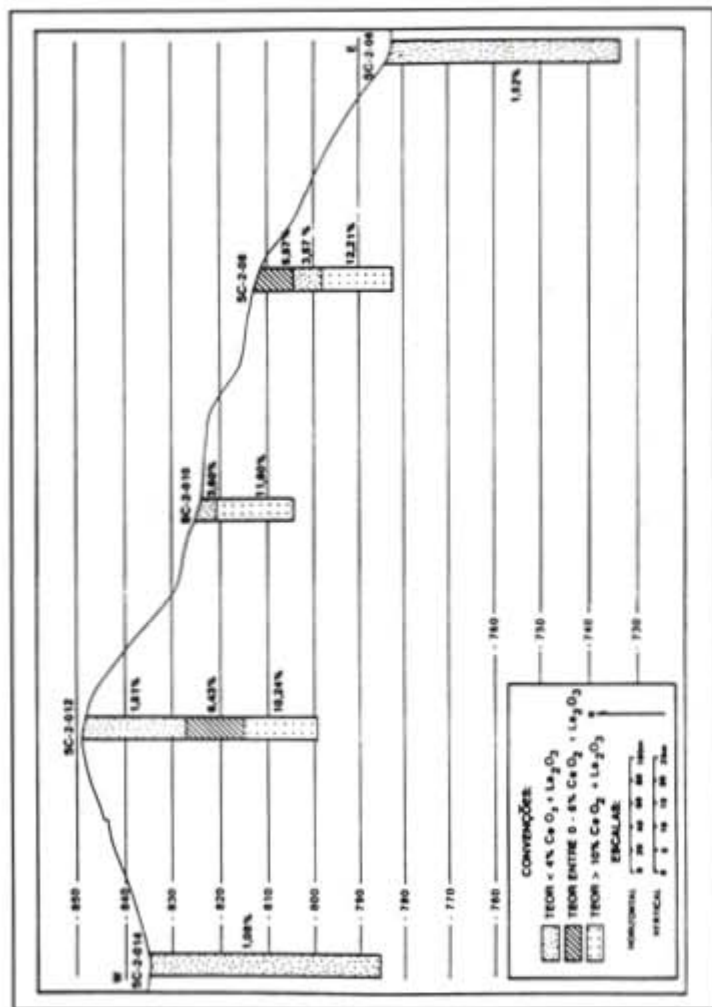


Figura 3 - Perfil de sondagens da zona mineralizada em TR do Córrego do Garimpo. (in: Carvalho, 1974)

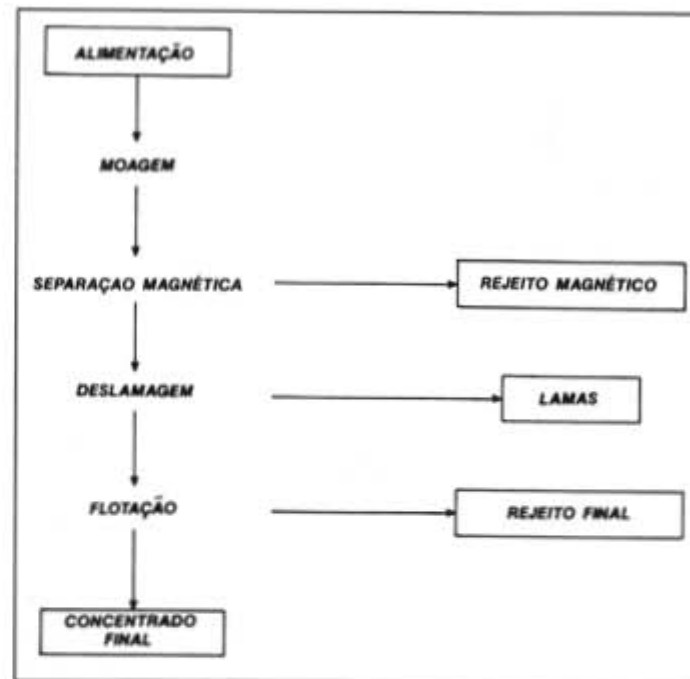


Figura 4 - Fluxograma Simplificado do complexo industrial da GOIASFÉRTIL em Catalão I (GO)

**TIOURÉIA E BROMO
COMO LIXIVIANTE
ALTERNATIVOS
À CIANETAÇÃO
DE OURO**

67

Roberto de S. Villas Bôas

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
TECNOLOGIA MINERAL**

1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Holanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Holanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita com Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canavieira do Estado do Ceará - Franz Xaver H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autôgena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Pulso Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981.
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Schinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porfírio, 1981.
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)

20. Dynawhirpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)
21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Benvido da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Caraíba - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Urucum, Corumbá-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélío Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Pessoa de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ. - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985.
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985.
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Holanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987.
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapulgita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.

43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lamelas - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianetação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)
45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990.
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Cotta, Adão B. da Luz, Marcello M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Farid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centrifugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992.
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bôas, Maria Dionísia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porphírio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luis Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcello M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luis Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evaldo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Hélcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Néelson Luiz S. Ferreira, Salette Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)
2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Néelson S. Ferreira, Gersino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vangil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Laís A. Menezes, 1992.
3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992.

**ACOMPETITIVIDADE
DA INDÚSTRIA
BRASILEIRA DE ALUMÍNIO:
AVALIAÇÃO E PERSPECTIVAS**

4

James M. D. Wain

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE**

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
2. La Importância del Método en la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
3. Normalización Minerometalúrgica e Integración Latinoamericana - Rômulo Genuíno de Oliveira, 1993.

**TERRAS-RARAS NO BRASIL:
DEPÓSITOS, RECURSOS IDENTIFICADOS, RESERVAS**

Francisco E. de V. Lajolo Loureiro

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
ESTUDOS E DOCUMENTOS**

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987.
2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luis Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.
3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)
4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaio Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)
5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaio Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)
6. Setor Mineral e Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.
7. Constituinte: A Nova Política Mineral - Gabriel Guerreiro, Octávio Elisio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Herrmann e Osny Duarte Pereira, 1988. (esgotado)
8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bôas, 1988. (esgotado)
9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)
10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coreia do Sul e Israel. - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)
11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990.
12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991.
13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.
14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)
15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.
16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.
17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.
18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.
19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993.
20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann, 1993. (esgotado)

PUBLICAÇÕES AVULSAS EDITADAS PELO CETEM OU EM CO-EDIÇÃO

1. Programação Trienal: 1989/1991. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
2. Programação Trienal: 1992/1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq).
3. Manual de Usinas e Beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
4. Relatório de Atividades de 1993. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1994.
5. Impactos Ambientais. SPRU/USP/CNPq, 1993.
6. Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. CETEM/CNPq/EDUFF, 1992.